



Diplomarbeit

**Feinstaubemissionen durch
Aufwirbelung und Abrieb**

Nicole Lindner

Eingereicht am

Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik
der Technischen Universität Graz

Erstbegutachter: Ao. Univ. Prof. DI Dr. techn. Peter Johann Sturm (TU Graz)

Graz, im August 2011



Deutsche Fassung:
Beschluss der Curricula-Kommission für Bachelor-, Master- und Diplomstudien vom 10.11.2008
Genehmigung des Senates am 1.12.2008

EIDESSTÄTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am *im Juli* 2011.

Nicole Kudner
.....
(Unterschrift)

Vorwort

Im Rahmen meines Studiums habe ich schon einige Vorlesungen am Institut für Verbrennungskraftmaschinen absolviert. Einige Vorlesungen gezwungenermaßen, da es sich um Pflichtfächer handelte und andere Vorlesungen aus Interesse. Zu diesen Vorlesungen, die ich aus Interesse besuchte, gehörten jene, die sich mit Umweltauswirkungen des Verkehrs beschäftigten. Da ich an diesem Thema sehr interessiert bin, wollte ich auch, wenn möglich zu diesem Thema eine Diplomarbeit verfassen. Dies wurde durch das Institut für Thermodynamik und Verbrennungsmotor und insbesondere durch Ao. Univ. Prof. DI Dr. techn. Peter Johann Sturm möglich.

Ich möchte mich bei den Mitarbeitern des Instituts für Thermodynamik und Verbrennungsmotoren für die Unterstützung bedanken. Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Mag. Gerhard Bachler und Herrn DI Dr. Mathias Henn für ihre tatkräftige Unterstützung. Außerdem möchte ich mich noch bei Ao. Univ. Prof. DI Dr. techn. Peter Johann Sturm bedanken, denn ohne ihn wäre diese Diplomarbeit gar nicht möglich gewesen.

Danken möchte ich auch meinen Eltern, Brigitte und Harald Lindner, die mir das Studium ermöglicht und mich immer unterstützt haben. Auch bei meiner Schwester Dagmar und bei meinen Freunden und Studienkollegen möchte ich mich recht herzlich bedanken, da sie mir eine große Stütze waren und immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

Graz, im August 2011

Nicole Lindner

Kurzfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Ermittlung von non exhaust Emissionsfaktoren. Dies sind jene Emissionsfaktoren, die durch Aufwirbelung von Straßenstaub und durch Abriebe von Bremsen, Kupplungen, Reifen oder der Straßenoberfläche zu Stande kommen. Die Emissionsfaktoren in dieser Arbeit wurden getrennt für unbefestigte und befestigte Straßen ermittelt. Zu Beginn wurde als Erstes eine Literaturrecherche zu diesem Thema durchgeführt, um zu klären, welche Modelle zur Berechnung von non exhaust Emissionsfaktoren bereits vorhanden sind. Im Anschluss daran wurden Feldversuche an unbefestigten und befestigten Straßen durchgeführt und untersucht. Aufgrund der Daten aus den Feldversuchen wurden non exhaust Emissionsfaktoren abgeleitet und mit den derzeit bekannten Faktoren verglichen.

Abstract

This work deals with the generation of non exhaust emission factors for road vehicles. This concerns emissions generated by resuspension of road dust and abrasion of brakes, clutches, tires and the road surface. The emission factors in this work were derived for unpaved and paved roads. At the beginning, a literature search was carried out on the subject, in order to determine which models to calculate non exhaust emission factors are already in place. Following this, field trials on unpaved and paved roads were made. Based on the data from the field tests, an attempt was made to derive non exhaust emission factors.

Abkürzungen

ppb	parts per billion
mg/m ³	Milligramm pro Kubikmeter
µg/m ³	Mikrogramm pro Kubikmeter
ng/m ³	Nanogramm pro Kubikmeter
mg/m ² *d	Milligramm pro Quadratmeter und Tag
HMW	Halbstundenmittelwert
TMW	Tagesmittelwert
JMW	Jahresmittelwert
MW8	Achtstundenmittelwert
IG-L	Immissionschutzgesetz Luft
PM ₁₀	Particulate Matter 10 µm
PM _{2,5}	Particulate Matter 2,5 µm
TSP	Total Suspended Particles; Schwebestaub; Grobstaub
NMHC	Gesamtkohlenwasserstoffe ohne Methan
PKW	Personenkraftwagen
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge
SNF	schweres Nutzfahrzeug, Lastkraftwagen
Fzg	Fahrzeug

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung/Problemstellung	1
1.1 Allgemeines	1
1.1.2 TSP	2
1.1.3 PM ₁₀	2
1.1.4 PM _{2,5}	3
1.2 Auswirkungen des Feinstaubes auf die Gesundheit	6
1.3 Gesetzliche Grundlagen	7
2. Stand der Wissenschaft	10
2.1 Modelle zur Berechnung der exhaust Emissionen.....	11
2.1.1 NEMO (Network Emission Model) (12), (13).....	11
2.1.2 PHEM (14), (15)	11
2.1.3 GLOBEMI (16), (17)	12
2.2 Modelle zur Berechnung von non exhaust Emissionsfaktoren	14
2.2.1 US EPA (18).....	14
2.2.2 Das modifizierte EPA Modell (22).....	20
2.2.3 Das schwedische Modell – SMHI (22), (25), (26).....	22
2.2.4 Das norwegische Modell – VLUFT	25
2.2.5 Das Schweizer Modell - Schweiz	26
2.2.6 RAINS Modell	28
2.2.7 TNO Modell (22).....	30
2.2.8 CORINAIR Modell (31).....	31
2.2.9 Feldversuche des Ingenieurbüro Lohmeyer - Lohmeyer	32
2.2.10 Feldversuche des IVT der TU Graz.....	33
2.3 Vergleich der non exhaust Emissionsfaktoren der verschiedenen Modelle.....	36
2.3.1 Gegenüberstellung der non exhaust PKW Emissionsfaktoren für PM ₁₀	36
2.3.2 Gegenüberstellung der non exhaust PKW Emissionsfaktoren für PM _{2,5}	38
2.3.3 Gegenüberstellung der non exhaust SNF Emissionsfaktoren für PM ₁₀	40
2.3.4 Gegenüberstellung der non exhaust SNF Emissionsfaktoren für PM _{2,5}	42
2.3.5 Gegenüberstellung der non exhaust Flottenemissionsfaktoren für PM ₁₀	43
2.3.6 Gegenüberstellung der non exhaust Flottenemissionsfaktoren für PM _{2,5}	44
3. Untersuchungen zur Ableitung von Emissionsfaktoren.....	46

3.1	Methoden zur Bestimmung von PM _x Emissionsfaktoren	46
3.2	Methoden zur Datenerhebung.....	48
3.3	Eingesetzte Messtechnik.....	49
3.3.1	Datenerfassung	49
3.3.2	PM ₁₀ /PM _{2,5} Staubmessgerät.....	52
3.3.3	NO-NO ₂ -NO _x -Analysator	55
3.3.4	Windgeschwindigkeitsmessung mittels Ultraschallanemometer – METEK USA 1.....	57
3.3.5	Verkehrszählung - Data Collect Seitenradar (SDR).....	57
4.	Feldversuche – Messdaten.....	59
4.1	Verwendete Messstellen in Klagenfurt.....	59
4.1.1	Druckerweg (Sondermessung).....	59
4.1.2	Völkermarkterstraße (kontinuierliche Messung).....	66
4.1.3	Koschatstraße (kontinuierliche Messung)	66
4.2	Verwendete Messstellen in Lienz.....	69
4.2.1	Brennerleweg (Sondermessung).....	69
4.2.2	Amlacherkreuzung (kontinuierliche Messung)	71
4.2.3	Tiefbrunnen (kontinuierliche Messung)	72
5.	Datenanalyse.....	75
5.1	Emissionsfaktoren der unbefestigten Straßen	75
5.1.1	Klagenfurt - Druckerweg.....	75
5.1.2	Lienz - Brennerleweg.....	85
5.2	Verkehrsbedingte Immissionsbeiträge (Sommer - Winter)	88
5.2.2	Klagenfurt - Völkermarkterstraße	89
5.2.3	Lienz - Amlacherkreuzung.....	96
6.	Zusammenfassung und Vergleich der ermittelten non exhaust Emissionsfaktoren.....	101
6.1	Vergleich der non exhaust Emissionsfaktoren aus den Feldversuchen und der Literatur.....	101
7.	Zusammenfassung	105
8.	Literaturverzeichnis.....	108
9.	Abbildungsverzeichnis	112
10.	Tabellenverzeichnis.....	116
11.	Formelverzeichnis	119

1. Einleitung/Problemstellung

In diesem Kapitel gibt es eine allgemeine Einführung zum Thema Feinstaub. Es werden Fragen beantwortet wie „Woher kommt der Feinstaub?“ und „Welche Größenfraktionen gibt es?“. Außerdem werden kurz die gesundheitlichen Auswirkungen des Feinstaubes beleuchtet. Da eine gesundheitsschädliche Feinstaubbelastung möglichst vermieden werden soll, gibt es EU Richtlinien und auch Grenzwerte, die im österreichischen Gesetz „Immissionschutzgesetz Luft“ (kurz IG-L) festgelegt sind.

1.1 Allgemeines

Grundsätzlich kann zwischen primären und sekundären Partikeln unterschieden werden. Erstere werden als primäre Emissionen direkt in die Atmosphäre abgegeben, letztere entstehen durch luftchemische Prozesse aus gasförmig emittierten Vorläufersubstanzen (zB.: Ammoniak, Schwefeldioxid, Stickstoffoxide) (1).

Es gibt sowohl natürliche als auch anthropogene Staubquellen. Zu den natürlichen Quellen gehören die Bodenerosion, die Vegetation, Waldbrände oder Vulkanismus. Zu den anthropogenen Staubquellen gehören die Emissionen durch Verbrennungsvorgänge, Feldbearbeitung in der Landwirtschaft, Aufwirbelung von Staub im Straßenverkehr oder der Umschlag von Schüttgütern (1).

Staub kann in verschiedene Größenfraktionen eingeteilt werden. Die nachfolgende Abbildung stellt die verschiedenen Teilmengen dar.

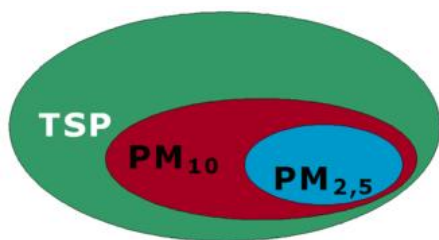


Abbildung 1: Unterteilung des Staubes (2)

Tabelle 1: Größenordnungen des Staubes

Größenordnungen des Staubes	
Staubart	Aerodynamischer Durchmesser [μm]
TSP	> 10
PM ₁₀	0 - 10
PM _{2,5}	0 – 2,5

1.1.2 TSP

TSP steht für „Total Suspended Particles“. Bei dieser Größenklasse handelt es sich um den Gesamtstaub oder auch Schwebstaub genannt. Der gut sichtbare Staub, der bei Baustellen oder durch Streusplitt verursacht wird, besteht zum Großteil aus Grobstaub. Dieser Gesamtschwebstaub kann vor allem mit Bergerhoff Sammlern erfasst werden (Depositionsmessung). Dabei wird ein Großteil der luftgetragenen Partikel berücksichtigt. Da der Grenzwert gemäß IG-L für TSP mit 31. Dezember 2004 außer Kraft getreten ist, hat diese Messgröße an Bedeutung verloren.

Die Hauptemittenten für Schwebstaub sind die Industrie, der Verkehr und die Landwirtschaft. Diese drei Emittenten verursachen mehr als zwei Drittel des Schwebstaubes (2), (3). Abbildung 2 zeigt die prozentuale Verteilung der TSP Emittenten für Österreich.

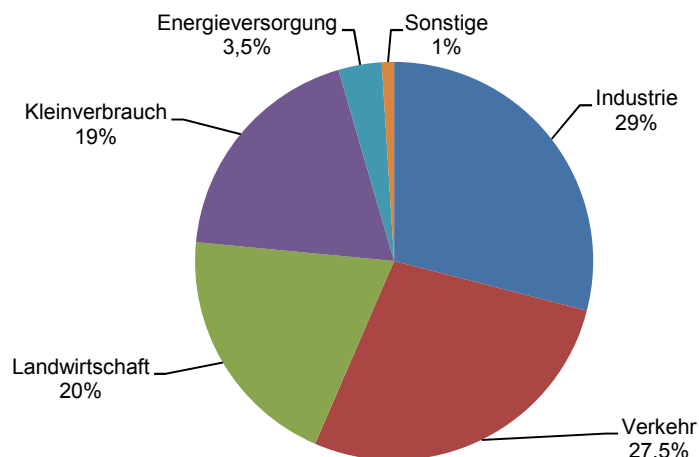


Abbildung 2: Emittenten für TSP (2)

1.1.3 PM₁₀

Diese Staubfraktion enthält mindestens 50% der Teilchen mit einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm, einen höheren Anteil kleinerer Teilchen und einen kleineren Anteil größerer Teilchen. PM₁₀ ist eine Teilmenge des TSP. Im deutschen Sprachgebrauch hat sich die Bezeichnung „Feinstaub“ für PM₁₀ eingebürgert (2), (3).

Die Hauptemittenten für PM_{10} sind die Industrie und der Kleinverbrauch. Abbildung 3 zeigt die prozentuale Verteilung für Österreich.

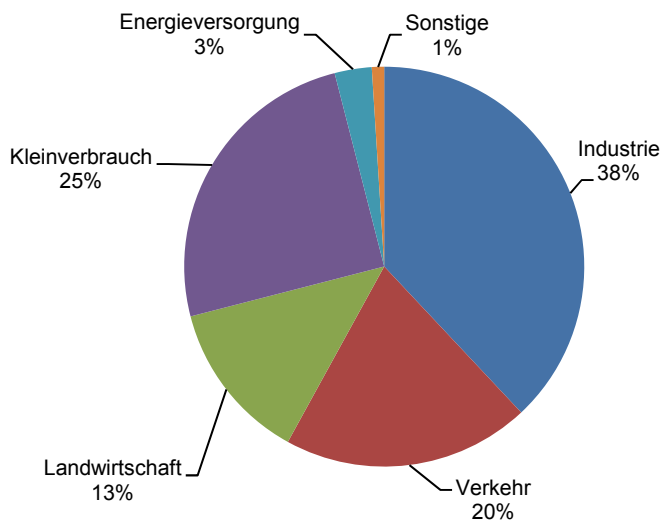


Abbildung 3: Emittenten für PM_{10} (2)

1.1.4 $PM_{2,5}$

Diese Staubfraktion ist eine Teilmenge der PM_{10} Partikel. Mit dieser Staubart werden mindestens 50% der Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von $2,5 \mu m$ erfasst.

Die Größenordnung dieser Partikel bewegt sich somit im Bereich von Bakterien und kann mit freiem Auge nicht gesehen werden. Durch die geringe Größe der Feinstaubpartikel, der daraus resultierenden langen Verweilzeit in der Atmosphäre und der atmosphärischen Transportdistanz von bis zu 1000 km ist $PM_{2,5}$ von hoher nationaler und internationaler Relevanz (2).

Die $PM_{2,5}$ Partikel sind tiefer lungengängig als die größere Fraktion PM_{10} (1).

In Abbildung 4 ist die prozentuelle Verteilung der PM_{2,5} Verursacher für Österreich dargestellt.

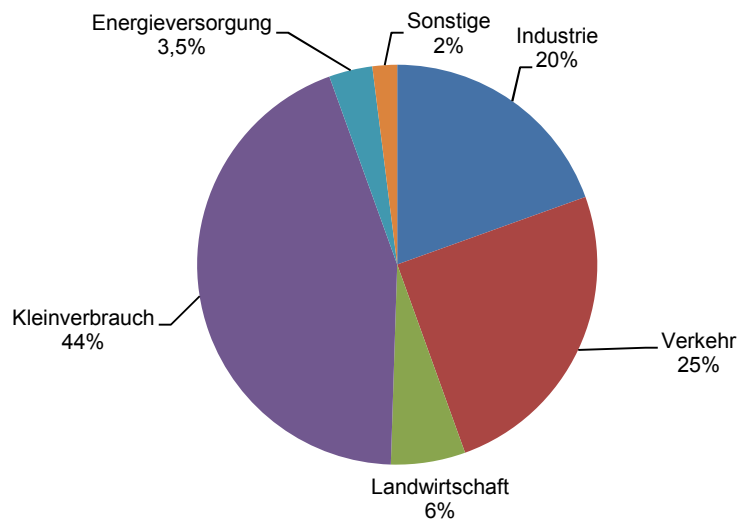


Abbildung 4: Emittenten für PM_{2,5}(2)

In Tabelle 2 werden Partikel, die einen größeren aerodynamischen Durchmesser als 2,5 µm und jene, die einen kleineren aerodynamischen Durchmesser haben, gegenübergestellt.

Tabelle 2: Gegenüberstellung feiner und grober Partikel (3)

	<i>Partikel <2,5 µm</i>	<i>Partikel >2,5 µm</i>
Entstehung aus	<i>Gasen</i>	<i>größeren Partikeln</i>
entsteht bei	<i>chemischen Umwandlungen, Nukleation, Kondensation, Koagulation, Evaporation von Nebel- und Wolkentropfen, in denen Gase gelöst werden</i>	<i>mechanischen Vorgängen (Abrieb, Vermahlen, ...), Aufwirbelung</i>
Zusammensetzung	<i>Sulfat, Nitrat, Ammonium, elementarer Kohlenstoff, organischer Kohlenstoff, Schwermetalle, Wasser</i>	<i>aufgewirbelter Staub (geogener Staub, Straßenabrieb), Flugasche, Elemente der Erdkruste als Oxide (Si, Al, Ti, Fe), CaCO₃, NaCl, Meersalz, Pollen und Sporen, andere Teilchen biogenen Ursprungs</i>
Löslichkeit	<i>teilweise löslich, oft hygroskopisch</i>	<i>oft unlöslich und nicht</i>

		<i>hygroskopisch</i>
Quellen	<i>Verbrennungsvorgänge (Dieselruß, NO_x, SO₂, ...), Landwirtschaft (NH₃), atmosphärische Transformationen (sekundäre Partikel), bestimmte industrielle Prozesse, Lösemittel</i>	<i>(Wieder-)Aufwirbelung von Staub von Straßen, Winderosion, Aufwirbelung durch anthropogene Tätigkeiten (Schüttvorgänge, Befahren unbefestigter Straßen, Bergbau, Abbruch- und Bauarbeiten ...), biologische Quellen, ...</i>
Verweildauer in der Atmosphäre	<i>Tage bis Wochen</i>	<i>Minuten bis Stunden</i>
atmosphärische Transportdistanz	<i>Einige 100 bis >1000 km</i>	<i>< 1 km bis einige 10 km</i>

1.2 Auswirkungen des Feinstaubes auf die Gesundheit

In den letzten Jahren hat es immer wieder Studien gegeben, die einen Zusammenhang zwischen der Feinstaubbelastung und gesundheitlichen Auswirkungen aufgezeigt haben. Da die Feinstaubpartikel je nach Größe und Form verschieden tief in den Körper eindringen können, kommt es auch zu sehr unterschiedlichen Auswirkungen. Die Erkrankungen reichen von Beeinträchtigungen der Lungenfunktion bis zu Atemwegs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen(2).

Die Abbildung 5 zeigt das Abscheidevermögen des menschlichen Körpers für Partikel unterschiedlicher Größe. Die Partikel mit einer Größe von 5 – 10 μm werden bei einem Erwachsenen durch normale Mund- oder Nasenatmung im Rachenraum abgeschieden. Die feineren Partikel mit einem aerodynamisch Durchmesser von 1 bis 3 μm sind tiefer lungengängig und gelangen bis zu den Bronchien und Bronchiolen. In den Alveolen - auch Lungenbläschen genannt - werden Partikel mit einer Größe von 1 bis 0,1 μm abgelagert (4), (5).

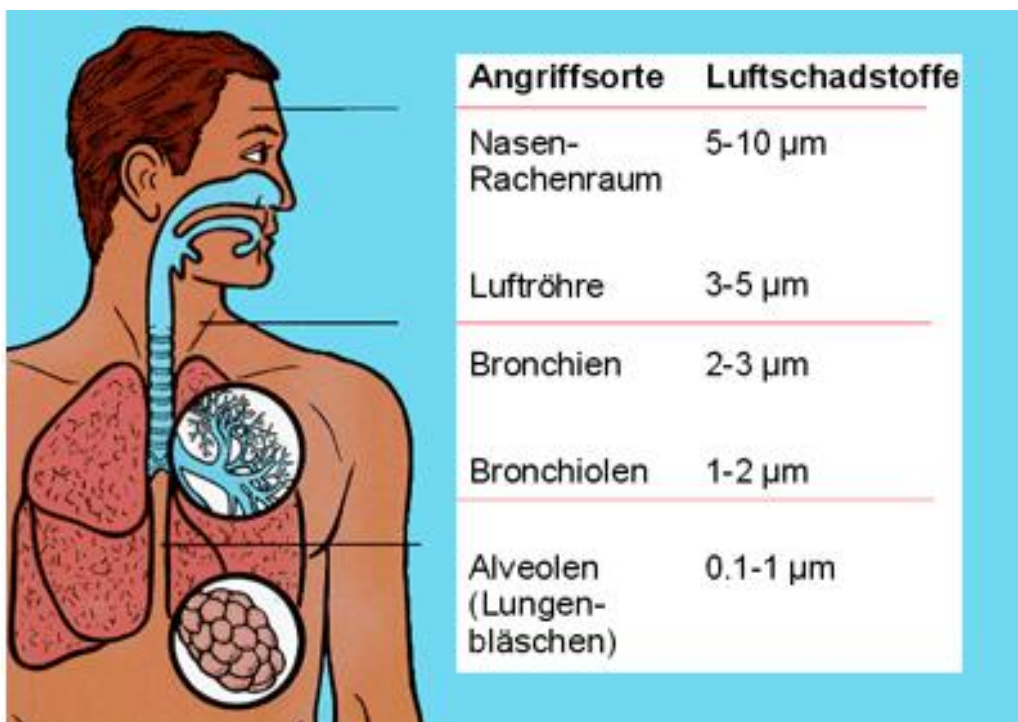


Abbildung 5: Eindringtiefe der Partikel (6)

1.3 Gesetzliche Grundlagen

Zum Schutze der menschlichen Gesundheit wurden Grenzwerte für die „klassischen“ Luftschadstoffe eingeführt. Zu diesen „klassischen“ Luftschadstoffen gehören:

- Feinstaub (PM₁₀, PM_{2,5})
- Stickstoffdioxid (NO₂)
- Schwefeldioxid (SO₂)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Blei (Pb)
- Benzol (C₆H₆)

Im IG-L (7), der nationalen Umsetzung der EU-Richtlinien (8) zur Luftqualität, sind zum Schutz der Gesundheit Immissionsgrenzwerte, unter anderem für PM₁₀ und PM_{2,5} festgelegt. Im Juni 2008 ist die neue Luftqualitätsrichtlinie der EU (RL2008/50/EG) in Kraft getreten.

Tabelle 3: Grenzwerte PM₁₀

PM ₁₀		
	EU RL2008/50/EG (8)	IG-L (7)
TMW	50 µg/m ³ und 35 Überschreitungstage	50 µg/m ³ und 25 Überschreitungstage
JMW	40 µg/m ³	40 µg/m ³

Tabelle 4: Grenzwerte PM_{2,5}

PM _{2,5}		
	EU RL2008/50/EG (8)	IG-L (7)
TMW	40 µg/m ³	40 µg/m ³
JMW	25 µg/m ³	25 µg/m ³

Tabelle 5: Grenzwerte für NO₂, SO₂, CO, Pb, C₆H₆ (7)

Luftschadstoff	HMW [µg/m ³]	MW8 [µg/m ³]	TMW [µg/m ³]	JMW [µg/m ³]
NO ₂	200			35 inkl. Toleranzmarge
SO ₂	200		120	
CO		10 000		
Pb				0,5
Benzol				5

Im Rahmen des Übereinkommens über weiträumige, grenzüberschreitende Luftverunreinigungen der UNECE (9) ist Österreich zu Berichten des jährlichen Ausstoßes bestimmter Luftemissionen verpflichtet.

Es müssen jährlich folgende Berichte erstellt werden:

- Austrias Annual Air Emission Inventory (Luftschadstoffe)
- Austrias Informative Inventory Report (Methodikbericht Luftschadstoffe)
- Emissionstrends in Österreich
- Bundesländer Luftschadstoff-Inventur

In der österreichischen Luftschadstoffinventur werden die nationalen Emissionen nach der CORINAIR-Systematik der Europäischen Umweltagentur erfasst. Diese CORINAIR-Systematik unterscheidet nach Ober- und Unterkategorien wie Sektoren und Maschinenkategorien (10).

Sämtliche Luftschadstoffe, die gemäß dem UNECE Übereinkommen berichtet werden müssen, sind:

- CO₂
 - CH₄
 - N₂O
 - Fluorierte Gase
 - NO_x
 - SO₂
 - NMVOC
 - NH₃
 - CO
 - Staub
 - POPs
 - Schwermetalle
-
- *Verursachersektoren (2):*
 - Energieversorgung
 - Kleinverbrauch
 - Industrie
 - Verkehr
 - Landwirtschaft
 - Sonstige

2. Stand der Wissenschaft

Zu Beginn dieser Diplomarbeit wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. In diesem Kapitel werden die Ergebnisse daraus beschrieben. Es gibt verschiedene Modelle zur Berechnung von Emissionsfaktoren. Die einen Modelle arbeiten mit Formeln, um zu Emissionsfaktoren zu gelangen. Bei den anderen Modellen werden Feldversuche durchgeführt, um daraus Emissionsfaktoren abzuleiten. In diesem Kapitel wird auf die einzelnen Modelle näher eingegangen.

In einem ersten Schritt wird zunächst eine Unterscheidung zwischen exhaust und non exhaust Emissionen vorgenommen.

Die Verursacher der exhaust Emissionen sind Verbrennungskraftmaschinen (Fahrzeuge des Straßenverkehrs, Dieselloks der Eisenbahn oder der Schiffsverkehr), aber auch Verbrennungsvorgänge bei gewerblichen und privaten Anlagen zur Erzeugung von Wärme bzw. zur Energieerzeugung. Auch offene Feuer, zum Beispiel Verbrennung von biogenen Abfällen, sowie Holz oder Stroh, zählen zu den Verursachern von exhaust Emissionen. Bei den Fahrzeugen des Straßenverkehrs sind dieselmotorisch betriebene Fahrzeuge die Hauptemittenten der exhaust Emissionen. Der Anteil der exhaust Emissionen, der durch dieselmotorisch betriebene Fahrzeuge verursacht wird, konnte in den letzten Jahren durch den Einsatz von Partikelfiltern und Partikelkatalysatoren deutlich reduziert werden (11).

Die exhaust Emissionen des Straßenverkehrs können mit dem Ansatz *Emissionsfaktor x Aktivität* berechnet werden. Der Emissionsfaktor wird beeinflusst von (11):

- der Verkehrssituation
- der Steigung des betrachteten Straßenstücks
- der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte im Bezugsjahr
- den Emissionsstandards im Zulassungsjahr (11)

2.1 Modelle zur Berechnung der exhaust Emissionen

Es gibt verschiedene Modelle zur Berechnung der exhaust Emissionen. Die folgenden, die hier näher beschrieben werden, haben ihren Schwerpunkt auf Österreich gelegt.

2.1.1 NEMO (Network Emission Model) (12), (13)

Dieses Modell wurde am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik entwickelt. Es verknüpft eine detaillierte Berechnung der Flottenzusammensetzung mit fahrzeugfeiner Emissionssimulation.

Die gesamten Emissionen auf einem Streckenstück ergeben sich aus den Fahrleistungen der einzelnen Fahrzeugkategorien multipliziert mit deren Emissionsfaktoren.

2.1.2 PHEM (14), (15)

PHEM steht für „Passenger Car and Heavy Duty Emission Model“. Das Modell wird zur detaillierten Simulation von Energieverbrauch und Emissionen von PKW und Nutzfahrzeugen verwendet.

Dieses Modell nutzt eine große Datenbank von zuvor vermessenen Fahrzeugen und Motoren. Mittels Kennfeldern wird die Berechnung von Energieverbrauch und Emissionen von PKW und Nutzfahrzeugen möglich. Es ist möglich, verschiedene Fahrzustände, Nutzlasten, Steigungen, variable Geschwindigkeiten und Beschleunigungen zu simulieren. Außerdem können Schaltvorgänge und verschiedene Verhaltensweisen eines Autofahrers berücksichtigt werden. Dadurch kann dieses Modell verschiedene Kombinationen von Motor, Antriebsstrang und Fahrzeug, einschließlich Hybrid-Elektro-Antriebe abbilden.

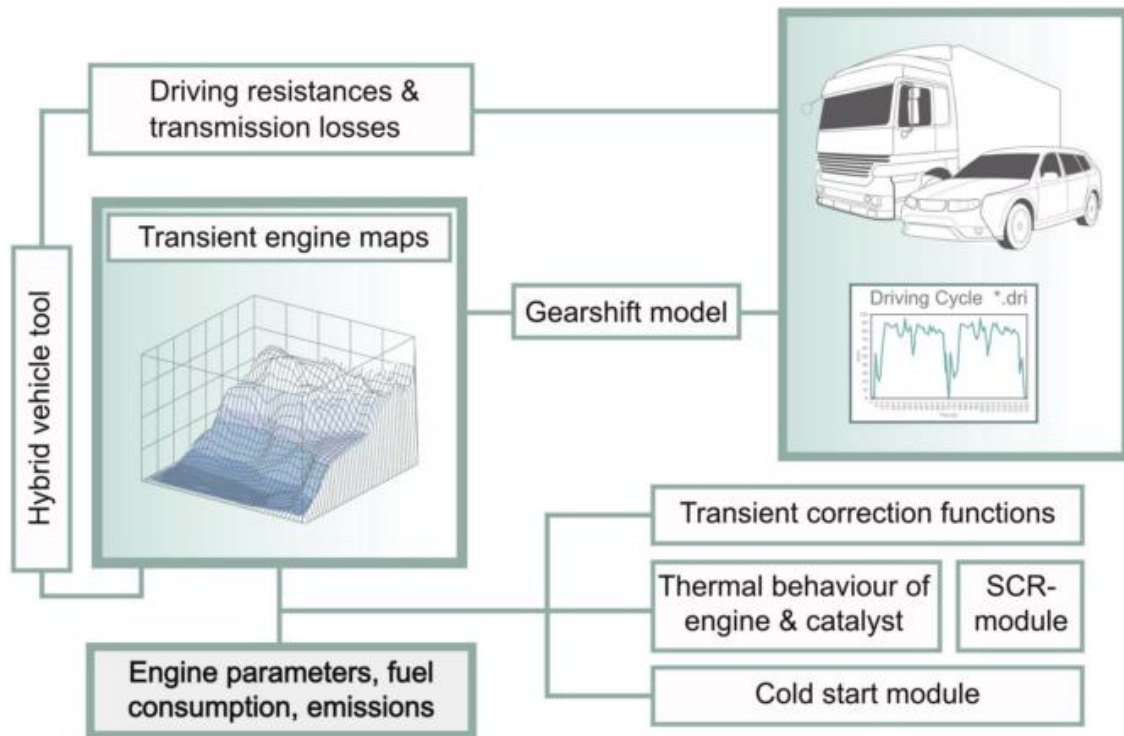


Abbildung 6: Schema des PHEM Modells (14)

2.1.3 GLOBEMI (16), (17)

Das Emissionsmodell GLOBEMI wurde am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz zur automatisierten Bilanzierung von Verbrauchs-, Emissions- und Verkehrsdaten in größeren Gebieten entwickelt. Das Programmpaket GLOBEMI berechnet die Fahr-, Verkehrs- und Transportleistungen, sowie die Abgasemissionen und den Energieverbrauch des Verkehrs. Die Berechnung erfolgt in Form von Verkehrs- und Emissionsbilanzen. Die Bilanzierung erfolgt dynamisch über frei wählbare Berechnungszeiträume. Der Verkehr wird dabei nicht auf den einzelnen Strecken des Berechnungsgebietes erfasst, sondern über die Bestandsstatistiken und spezifischen Jahresfahrleistungen abgeschätzt. Der prinzipielle Rechenablauf ist in der Abbildung 7 grafisch dargestellt.

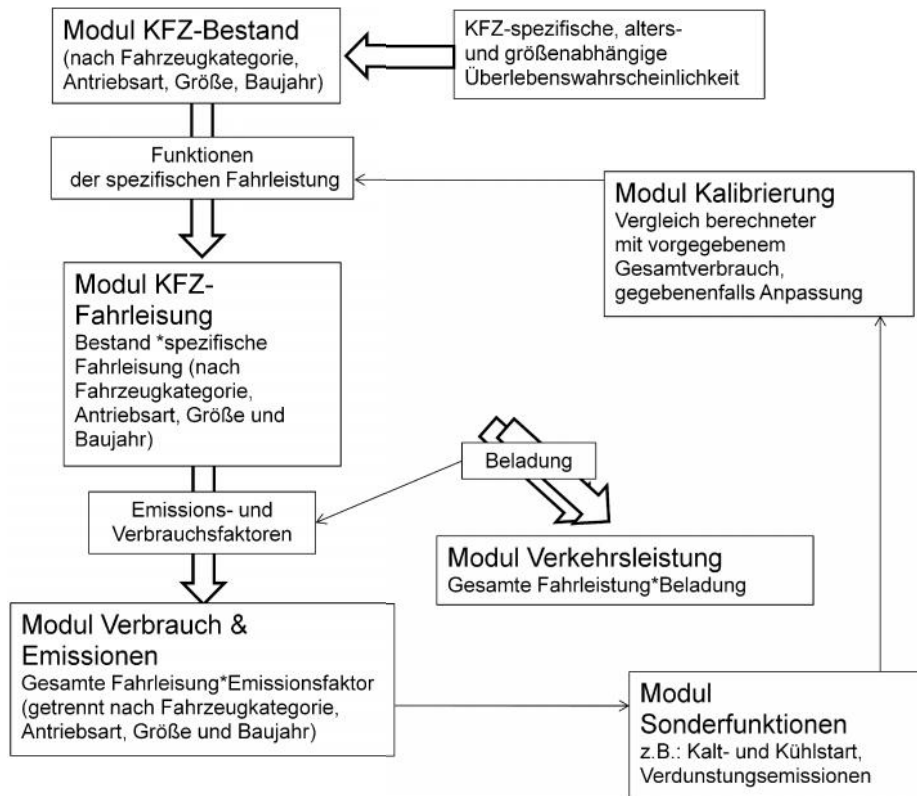


Abbildung 7: Rechenablauf im GLOBEMI Modell (17)

- *Die Quellen von non exhaust (nicht auspuffbedingte) Emissionen sind:*
 - Straßenabrieb
 - Reifenabrieb
 - Abrieb von Brems- und Kupplungsbelägen
 - Staubaufwirbelung

Diese Art der Feinstaubemissionen ist vom Antriebssystem des Fahrzeuges unabhängig.

2.2 Modelle zur Berechnung von non exhaust Emissionsfaktoren

In diesem Kapitel werden Modelle zur Berechnung von non exhaust Emissionsfaktoren vorgestellt. Diese Modelle wurden in den USA, Deutschland, Schweden, Norwege, der Schweiz und in Österreich entwickelt.

2.2.1 US EPA (18)

Der Begriff US EPA steht für United States Environmental Protection Agency. Diese unabhängige Behörde befasst sich mit dem Schutz der Umwelt und der menschlichen Gesundheit.

Die Serie „Compilation of Air Pollutant Emission Factors“, AP-42 wird seit 1972 veröffentlicht und beschreibt die diversesten Emissionsfaktoren. Die neuesten Veröffentlichungen können auf der Homepage der US EPA (19) abgefragt werden.

Beim US Modell gibt es Emissionsmodelle für unbefestigte und befestigte Straßen.

- **Unbefestigte Straßen (20)**

Bei den unbefestigten Straßen wird, wie bei den befestigten Straßen, loses Material aufgewirbelt. Außerdem wird bei den unbefestigten Straßen noch der Feuchtegrad der Straße, das Gewicht der Fahrzeuge, die die Straße befahren und die Oberflächenbeschaffenheit der Straße berücksichtigt.

Um Emissionsfaktoren für die unbefestigte Straße in einem Industriegebiet ermitteln zu können, wurde die folgende Gleichung ermittelt:

Formel 1: Emissionsfaktor der US EPA für unbefestigte Industriestraßen

$$E = k(s/12)^a (W/3)^b$$

Die Berechnungsvorschrift der US EPA für unbefestigte Straßen beschreibt noch eine weitere Gleichung, diese soll für öffentlich zugängliche Straßen angewendet werden. Die Gleichung für die öffentlich zugängliche Straße sieht wie folgt aus:

Formel 2: Emissionsfaktor der US EPA für unbefestigte öffentliche Straßen

$$E = \frac{k(s/12)^a (S/30)^d}{(M/0,5)^c} - C$$

E	[lb/VMT]	=	PM ₁₀ Emissionsfaktor
k	[g/km*Fzg]		Partikelgrößen-Multiplikator
s	[%]	=	Staubbelastung der Straße (silt content)
W	[t]	=	Mittleres Fahrzeuggewicht
M	[%]	=	Feuchtegehalt der Fahrbahnoberfläche
S	[km/h]	=	Mittlere Geschwindigkeit der Fahrzeuge
C	[-]	=	Emissionsfaktor für die Fahrzeugflotte für Abgasemissionen, Bremsen- und Reifenabrieb
a, b, c, d	[g/km]	=	Empirische Konstanten

In der Tabelle 6 ist der Emissionsfaktor C, der in der Formel 2 eingesetzt wird, dargestellt. Dieser Faktor beinhaltet die Abgasemissionen und die Abriebe von Bremsen und Reifen gemäß einer Fahrzeugflotte aus den 80er Jahren.

Tabelle 6: Übersicht für die Werte des Emissionsfaktors (21)

Bereich der Partikelgröße	Emissionsfaktor C
	[g/km]
PM _{2,5}	0,1005
PM ₁₀	0,1317

Die Werte für die übrigen empirischen Konstanten der Formel 2 sind in der Tabelle 7 dargestellt. Diese Faktoren sind gemäß US EPA.

Tabelle 7: Werte für die Konstanten in der Formel (21)

Konstante	Industriestraße		öffentliche Straße	
	PM _{2,5} [g/km]	PM ₁₀ [g/km]	PM _{2,5} [g/km]	PM ₁₀ [g/km]
k	42,285	422,85	50,742	507,420
a	0,9	0,9	1	1
b	0,45	0,45	-	-
c	-	-	0,2	0,2
d	-	-	0,5	0,5

In der Tabelle 8 sind Zahlenwerte für die Staubbelastung der Straße (s), für das Fahrzeuggewicht (W) und die Fahrzeuggeschwindigkeit (S), die Anzahl der Räder, die die Straße befahren sowie der Feuchtegehalt der Fahrbahn (M) angeführt. Die Staubbelastung der Straße variiert sehr stark, da je nach Art der Fahrbahnoberfläche mehr oder weniger loses Material, das aufgewirbelt werden kann, liegt. Es ist ein Unterschied, ob es sich um eine Schotterstraße oder einen „klassischen“ Feldweg handelt. Darüber hinaus macht es einen großen Unterschied für die Aufwirbelung, ob die Straße feucht oder trocken ist. Bei einer feuchten Straßenoberfläche ist der Staub „zusammengeklebt“ und kann nicht so einfach aufgewirbelt werden wie bei einer trockenen Fahrbahn, daher wird der Emissionsfaktor bei einer feuchten/nassen Oberfläche kleiner sein als bei einer trockenen Fahrbahn.

Tabelle 8: Werte für Faktoren zur Berechnung der Emissionsfaktoren (21)

Emissionsfaktor	Staubbelastung	Fahrzeuggewicht	Fahrzeuggeschwindigkeit	Anzahl der Räder	Feuchtegehalt der Fahrbahn
[-]	[%]	[t]	[km/h]	[Anzahl]	[%]
Industriestraße	1,8 – 25,2	1,4 – 25,561	8 - 69	4 - 17	0,03 – 13
öffentliche Straße	1,8 – 35	1,4 – 25,561	16 – 88	4 – 4,8	0,03 - 13

Die Emissionsfaktoren für das US EPA Modell für die unbefestigte Straße sind in der Tabelle 9 dargestellt.

Tabelle 9: Übersicht der Emissionsfaktoren der US EPA für die unbefestigte Straße

US EPA unbefestigte Straße				
	Industriestraße		öffentliche Straße	
	PM _{2.5} [g/km*Fzg]	PM ₁₀ [g/km*Fzg]	PM _{2.5} [g/km*Fzg]	PM ₁₀ [g/km*Fzg]
PKW	0,086 - 0,927	0,862 - 9,273	0,072 - 2,014	1,601 - 21,025
SNF	0,319 - 3,427	3,187 - 34,268	0,072 - 2,014	1,601 - 21,025

• Befestigte Straßen (21)

Die Fahrzeuge wirbeln loses Material, das auf der Straße liegt, auf. Die Emissionen, die durch diese Aufwirbelung zustande kommen, können mit folgender Formel beschrieben werden:

Formel 3: Emissionsfaktor der US EPA für befestigte Straßen

$$E = k(sL)^{0,91} \times (W)^{1,02}$$

E [g/km*Fzg] = PM₁₀ Emissionsfaktor

k [g/km*Fzg] = Partikelgrößen-Multiplikator

sL [g/m²] = Staubbelastung der Straße

W [t] = Mittleres Gewicht der Fahrzeuge, die die Straße befahren

Bei den Zahlenwerten, die in der Tabelle 10 dargestellt sind, handelt es sich um den Partikelgrößenmultiplikator k . Dieser Multiplikator ist jeweils für PM_{10} und $PM_{2,5}$ in der Literatur angegeben.

Tabelle 10: Partikelgrößen-Multiplikator k (21)

Größenbereich	Partikelgrößenmultiplikator k		
	[g/km*Fzg]	[g/mile*KFZ]	[lb/mile*KFZ]
PM_{10}	0,62	1,00	0,0022
$PM_{2,5}$	0,15	0,25	0,00054

In der Tabelle 11 sind die Zahlenwerte für die Staubbelastung der Straße (sL) und das Durchschnittsgewicht der Fahrzeuge (W), die diese Straße befahren, angegeben. Das Durchschnittsgewicht der PKW mit 2.200 kg ist relativ hoch. Der Grund dafür ist, dass dieses Modell in Amerika konzipiert wurde und dort die Fahrzeuge generell schwerer sind.

Tabelle 11: Werte für die Staubbelastung und Fahrzeuggewicht (22)

Konstante	Wert
sL	0,03 – 400 g/m ²
W	1.800 – 38.000 kg

Auf Basis der Formel 3 ist es möglich, Emissionsfaktoren zu berechnen. Die Ergebnisse der Berechnung sind in der Tabelle 12 dargestellt. Die PKW Emissionsfaktoren, die unter dem Punkt Minimum angeführt sind, kommen in einen realistischen Bereich. Die PKW Emissionsfaktoren, die mit Maximum bezeichnet sind, sind dagegen unrealistisch hoch. Der Grund dafür ist, dass die Staubbelastung der Straße (sL , siehe Tabelle 11) mit maximal 400 g/m² unrealistisch ist. Die SNF Emissionsfaktoren sind in Summe sehr hoch, dies ist darauf zurückzuführen, dass das Gewicht der SNF mit 38.000 kg angesetzt wird. Deshalb werden die hier ermittelten Emissionsfaktoren nicht mehr weiter behandelt.

Tabelle 12: Übersicht der Emissionsfaktoren gemäß US EPA für befestigte Straßen

US EPA befestigte Straße				
	PM _{2,5} [g/km*Fzg]		PM ₁₀ [g/km*Fzg]	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
PKW	0,011	63,730	0,046	263,417
SNF	289,502	1,642x10 ⁶	1,197x10 ³	6,786x10 ⁶

Um einigermaßen vergleichbare Emissionsfaktoren zu erhalten, wurden in die Formel 3 Staubbelastungen der Straße und Fahrzeuggewichte, die für österreichische Verhältnisse gültig sind, eingesetzt. Die jeweiligen Faktoren für die Staubbelastung und die Fahrzeuggewichte sind in der Tabelle 13 ersichtlich.

Tabelle 13: Werte für die Staubbelastung und Fahrzeuggewichte für österreichische Verhältnisse

	Innerorts		Außerorts		Autobahn	
	sL	W	sL	W	sL	W
	[g/m ²]	[kg]	[g/m ²]	[kg]	[g/m ²]	[kg]
PKW	1,41	1.400	0,36	1.400	0,03	1.400
SNF	1,41	12.243	0,36	23.031	0,03	25.561
Flotte	1,41	3.740	0,36	3.740	0,03	3.740

Die Emissionsfaktoren, die sich für „österreichische Verhältnisse“ ergeben, sind in der Tabelle 14 ersichtlich. Der Flottenemissionsfaktor wurde durch einen 80%igen PKW Anteil und einen 20%igen LKW Anteil berechnet. Die Emissionsfaktoren der Tabelle 14 werden auch für weitere Betrachtungen herangezogen, siehe Punkt 2.3 Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren der verschiedenen Modelle.

Tabelle 14: Übersicht der Emissionsfaktoren gemäß US EPA für befestigte Straßen für Österreich

US EPA befestigte Straße						
	Innerorts		Außerorts		Autobahn	
	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁₀
	[g/km*Fzg]	[g/km*Fzg]	[g/km*Fzg]	[g/km*Fzg]	[g/km*Fzg]	[g/km*Fzg]
PKW	0,289	1,195	0,083	0,345	0,009	0,036
SNF	2,6395	10,910	1,452	6	0,168	0,696
Flotte	0,787	3,255	0,227	0,940	0,024	0,098

2.2.2 Das modifizierte EPA Modell (22)

Rauterberg Wulff (23) hat Messungen in Berlin vorgenommen. Diese Messungen wurden mit der US EPA Formel verglichen und man kam zum Schluss, dass die US EPA Formel etwas modifiziert werden müsste, um eine Berechnung für deutsche Straßen möglich zu machen. Laut Lohmeyer (22) müsste die modifizierte US EPA Formel folgendermaßen aussehen:

Formel 4: Emissionsfaktor für das jeweilige Bezugsjahr

$$e_{PM10}(Bzj) = e_{PM10}^{Auspuff}(Bzj) + e_{PM10}^{Ab+Auf}(Bzj)$$

$$e_{PM10}(Bzj) \quad [g/km*Fzg] \quad = \quad \text{PM-10 Emissionen für eine Straße für ein betrachtetes Bezugsjahr}$$

$$e_{PM10}^{Auspuff}(Bzj) \quad [g/km*Fzg] \quad = \quad \text{Emissionen aus dem Auspuff}$$

$$e_{PM10}^{Ab+Auf}(Bzj) \quad [g/m^2] \quad = \quad \text{Emissionen durch Aufwirbelung von Straßenstaub und Abrieb von Bremsen, Reifen, Kupplung und Straße}$$

Um e_{PM10} berechnen zu können, werden die Auspuffemissionen dem Handbuch für Emissionsfaktoren des Umweltbundesamtes (HBEFA) (24) entnommen und die $e_{PM10}^{Ab+Auf}(Bzj)$ wird mit Formel 5 berechnet:

Formel 5: Formel für Aufwirbelung und Abrieb

$$e_{PM10}^{Ab+Auf}(Bzj) = e_{Pm10}^{Ab+Auf}$$

Das bedeutet, dass der Emissionsfaktor für Aufwirbelung und Abrieb nicht vom Bezugsjahr abhängig ist.

Um den Emissionsfaktor e_{PM10}^{Ab+Auf} berechnen zu können, wurde Formel 6 eingeführt:

Formel 6: Formel für das modifizierte EPA Modell

$$e_{PM10}^{Ab+Auf} = a \cdot k \cdot (sL)^{0.52} \cdot W^{2.14} [1 / 0.85 (1 - 0.5 \cdot r)]$$

e_{PM10}^{Ab+Auf}	[g/km*Fzg]	= Emissionsfaktor der Fahrzeuge
a	[-]	= Korrekturfaktor für die Anwendung auf Straßen in Deutschland
k	[g/km]	= Basisemissionsfaktor der EPA=0.18 g/km
sL	[g/m ²]	= PM75-Fraktion der Staubbilanz der Straße
W	[t]	= Mittleres Gewicht der Fahrzeuge der Fahrzeugflotte
r	[-]	= Anteil der Regentage eines Jahres

In der Formel 6 sind ein Korrekturfaktor (a), die Staubbilanz der Straße (sL) sowie die Fahrzeuggewichte (W) enthalten. Die Werte für diese Faktoren sind in der Tabelle 15 zusammengefasst. Da es in der Literatur keine Angaben für ein Flottengewicht gab, wurde das Gewicht für die Flotte durch einen 80%igen PKW Anteil und einen 20%igen LKW Anteil errechnet.

Tabelle 15: Werte um die non exhaust Emissionsfaktoren berechnen zu können (22)

Faktor	Innerortsstraße		Außerortsstraße		Autobahn	
	Gute Straße	Schlechte Straße	Gute Straße	Schlechte Straße	Gute Straße	Schlechte Straße
a	0,8	2	0,8	2	0,8	2
sL	0,2	0,4	0,1		0,1	
W (PKW)	1,1		1,2		1,3	
W (SNF)	9		11		13	
W (Flotte)	2,68		3,16		3,64	

Da nur Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb berechnet werden sollen, müssen die Anteile der Auspuffemissionen abgezogen werden. Diese Emissionsfaktoren für die Auspuffemissionen sind für PKW und SNF unterschiedlich und in $e_{PM10}^{Auspuff}$ zusammengestellt.

$$e_{PM10}^{Auspuff} = \begin{cases} 0,016 \text{ g / km} & \text{für PKW (inkl. LNF)} \\ 0,492 \text{ g / km} & \text{für LKW} \end{cases}$$

Die Emissionsfaktoren für das modifizierte EPA Modell sind in der Tabelle 16 aufgelistet.

Tabelle 16: Übersicht der non exhaust Emissionsfaktoren des modifizierten EPA Modells

modifiziertes EPA Modell						
	Innerorts		Außerorts		Autobahn	
	gute Straße	schlechte Straße	gute Straße	schlechte Straße	gute Straße	schlechte Straße
	[g/km*Fzg]	[g/km*Fzg]	[g/km*Fzg]	[g/km*Fzg]	[g/km*Fzg]	[g/km*Fzg]
PKW	0,076	0,274	0,064	0,161	0,076	0,191
SNF	12,716	45,585	8,868	22,169	8,868	22,169
Flotte	2,604	9,336	1,825	1,275	0,707	1,767

2.2.3 Das schwedische Modell – SMHI (22), (25), (26)

Laut Forsberg (26) ist der Anteil der PM_{10} Emissionen, die durch Abgase verursacht werden, weniger als 10%. Mehr als 90% der PM_{10} Emissionen stammen aus Reifen-, Bremsen-, Kupplungsabrieb und Staubaufwirbelung.

Die täglichen PM_{10} Emissionen sind sehr schwierig zu prognostizieren, da sie von sehr vielen Faktoren abhängig sind. Zu diesen Faktoren zählen die Meteorologie, der Zustand der Straßenoberfläche und die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte.

Dieses schwedische Emissionsmodell basiert auf einer Messung an einer Autobahn und in einer Straßenschlucht. Um die Ausbreitung des Staubes berechnen zu können, wurde einerseits das OSPM Model von Berkowicz (2000) für die Straßenschlucht und andererseits ein Ausbreitungsmodell von Gauß für die Autobahn verwendet.

Das Modell verwendet Emissionsfaktoren und Verkehrsdaten, um die PM₁₀ Emissionen ermitteln zu können.

Die Formel 7 wurde von Bringfelt (27) vom schwedischen Meteorologischen und Hydrologischen Institut (SMHI) beschrieben. Dabei ist e_f^{total} ein Basisemissionsfaktor und F ein Faktor, der die Staubbelastung der Straße beschreibt.

Formel 7: Emissionsfaktor des SMHI Modells

$$E_{PM}^{Verkehr} = F e_f^{total}$$

Formel 8: Emissionsfaktor gesamt für Aufwirbelung, Abrieb und Auspuffemissionen

$$e_f^{total} = e_f^{direkt} + e_f^{Aufwirbelung}$$

Formel 9: Emissionsfaktor für Abrieb und Auspuffemissionen

$$e_f^{direkt} = e_f^{Auspuff} + e_f^{Abriebe am Fahrzeug} + e_f^{Straßenabrieb}$$

$E_{PM}^{Verkehr}$	[mg/km*Fzg]	=	Gesamtemissionen einer Straße
F	[-]	=	Anzahl der Fahrzeuge für eine bestimmte Zeit
e_f^{total}	[mg/km*Fzg]	=	Emissionsfaktor
e_f^{direkt}	[mg/km*Fzg]	=	Emissionsfaktor für die direkten Emissionen
$e_f^{Aufwirbelung}$	[mg/km*Fzg]	=	Emissionsfaktor für Aufwirbelung
$e_f^{Auspuff}$	[mg/km*Fzg]	=	Emissionsfaktor für die Auspuffabgase
$e_f^{Abriebe am Fahrzeug}$	[mg/km*Fzg]	=	Emissionsfaktor für Bremsen-, Reifen- und Kupplungsabrieb
$e_f^{Straßenabrieb}$	[mg/km*Fzg]	=	Emissionsfaktor für den Straßenabrieb

Um den Emissionsfaktor für die Aufwirbelung berechnen zu können, ist es notwendig, die Staubbeldung der Straße zu definieren. Dazu müssen der Straßenabrieb und die Ausbringung von Streugut berücksichtigt werden. Die Staubbeldung einer Straße kann mit der Formel 10 berechnet werden.

Formel 10: Staubbeldung der Straße

$$l = \alpha l_w + \beta l_s$$

l	[-]	=	Gesamtstaubbeldung einer Straße
α	[-]	=	Faktor für den Anteil des Straßenabriebs
β	[-]	=	Faktor für den Anteil des ausgebrachten Streuguts
l_w	[-]	=	Staubbeldung durch Straßenabrieb
l_s	[-]	=	Staubbeldung durch ausgebrachtes Streugut

Der Emissionsfaktor für die Aufwirbelung berechnet sich nun mit folgender Formel:

Formel 11: Emissionsfaktor für die Aufwirbelung

$$e_f^{\text{Aufwirbelung}} = f_q l e_{f,PM}^{\text{ref winter}}$$

Die Gesamtstaubbeldung variiert sehr stark, da in Schweden sehr viel Streugut ausgebracht werden muss und außerdem im Winter hauptsächlich mit Spikesreifen gefahren wird. Aus diesem Grund wird noch ein zusätzlicher Faktor f_q für Spikesreifen eingeführt.

Für den Sommer wird die Formel etwas vereinfacht, da die Gesamtstaubbeldung der Straße nicht so stark variiert.

Formel 12: Emissionsfaktor für die Aufwirbelung (Sommer)

$$e_f^{\text{Aufwirbelung}} = f_q e_{f,PM}^{\text{ref sommer}}$$

Mit diesem Modell wurden folgende Emissionsfaktoren für PM₁₀ und PM_{2,5} ermittelt, die in der Tabelle 17 zusammengefasst sind. Um einen Flottenemissionsfaktor ermitteln zu können, wurde eine Flotte, die sich aus einem 80%igen PKW Anteil und einem 20%igen LKW Anteil zusammensetzt, herangezogen.

Tabelle 17: Emissionsfaktoren für Straßenantrieb und Staubaufwirbelung des schwedischen Modells

Emissionsfaktoren des SMHI Modells				
	Innerorts		Außerorts Autobahn	
	PM _{2,5} [g/km*Fzg]	PM ₁₀ [g/km*Fzg]	PM _{2,5} [g/km*Fzg]	PM ₁₀ [g/km*Fzg]
PKW	-	0,058	-	0,285
SNF	-	0,216	-	0,293
Flotte	-	0,220	-	0,287

2.2.4 Das norwegische Modell – VLUFT

Laut Lohmeyer (22) wird in Norwegen in Anlehnung an das schwedische Modell folgende Formel zur Berechnung von Emissionsfaktoren verwendet:

Formel 13: Emissionsfaktor des norwegischen Modells

$$Q = EP + F_{Spike} F_{nass} (PM2.5_{str} + Q_{ref} (a + bTT)(v/v_{ref})^2)$$

Q	[g/(km*Fzg)]	=	PM ₁₀ -Emissionsfaktor
EP	[g/(km*Fzg)]	=	Auspuffpartikelemissionsfaktor aus nationaler Emissionsdatenbank
F_{Spike}	[-]	=	Faktor zur Berücksichtigung der Spikereifenbenutzung
F_{nass}	[-]	=	Faktor zur Berücksichtigung der Feuchtigkeit der Straßenoberfläche
$PM2.5_{str}$	[g/(Fzg km)]	=	Feine Partikelfraktion vom Straßenantrieb
Q_{ref}	[g/(Fzg km)]	=	Auspuffemissionen in Referenzsituationen

$(a + bTT)$	[-]	=	Korrektur für den Anteil von Schwerverkehr; TT=Anteil Schwerverkehr an Fahrzeugflotte in %, a und b sind empirisch abgeleitete Parameter
v	[km/h]	=	Fahrzeuggeschwindigkeit
v_{ref}	[km/h]	=	Referenzgeschwindigkeit

In der Tabelle 18 sind typische Werte für die Konstanten angegeben.

Tabelle 18: Werte für die Konstanten(22)

Konstante	Übliche Werte
a	2,48
b	0,26
v_{ref}	75

2.2.5 Das Schweizer Modell - Schweiz

In einer Arbeit von Gehrig et al (28) wird die folgende Vorgehensweise zur Ermittlung von Emissionsfaktoren vorgestellt:

Als Erstes wird eine Luv Lee Messung vorgenommen. Danach werden mit den gemessenen Verkehrszahlen Emissionsfaktoren berechnet, wobei in leichte und schwere Motorwagen unterschieden wird. Außerdem kommt es noch zu einer Unterscheidung, ob es sich um Auspuff- oder Abriebemissionen handelt. Diese Unterscheidung ist unkompliziert, da die Auspuffemissionen der kleinen Fraktion PM_{10} zugeordnet werden können und die Gesamtemissionen mit den gemessenen PM_{10} Werten abgebildet wird. Die PM_{10} und PM_1 Konzentrationen stammen aus Messungen. Somit können die Emissionen für Aufwirbelung und Abrieb mit der Formel $PM_{10}-PM_1$ berechnet werden.

Um die Emissionsfaktoren berechnen zu können, wird NO_x als Indikator verwendet. Die Formeln für die Berechnung lauten:

Formel 14: Stickoxidkonzentration

$$\Delta \text{NO}_x = \frac{EF_{LMW, \text{NO}_x}}{v} n_{LMW} + \frac{EF_{SMW, \text{NO}_x}}{v} n_{SMW}$$

Formel 15: Verdünnung

$$v = \frac{EF_{LMW, \text{NO}_x} \cdot n_{LMW} + EF_{SMW, \text{NO}_x} \cdot n_{SMW}}{\Delta \text{NO}_x}$$

Formel 16: Auspuffemissionen

$$\Delta \text{PM}_1 = \frac{EF_{LMW, \text{PM}_1}}{v} n_{LMW} + \frac{EF_{SMW, \text{PM}_1}}{v} n_{SMW}$$

Formel 17: PM10 Emissionen

$$\Delta \text{PM}_{10} = \frac{EF_{LMW, \text{PM}_{10}}}{v} n_{LMW} + \frac{EF_{SMW, \text{PM}_{10}}}{v} n_{SMW}$$

EF_{LMW, NO_x}	[mg/km]	= Emissionsfaktor leichte Motorwagen Stickoxide
EF_{SMW, NO_x}	[mg/km]	= Emissionsfaktor schwere Motorwagen Stickoxide
EF_{LMW, PM_1}	[mg/km]	= Emissionsfaktor leichte Motorwagen PM_1
EF_{SMW, PM_1}	[mg/km]	= Emissionsfaktor schwere Motorwagen PM_1
$EF_{LMW, \text{PM}_{10}}$	[mg/km]	= Emissionsfaktor leichte Motorwagen PM_{10}
$EF_{SMW, \text{PM}_{10}}$	[mg/km]	= Emissionsfaktor schwere Motorwagen PM_{10}
ΔNO_x	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	= Konzentrationsdifferenz Stickoxide (Messwerte)
ΔPM_1	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	= Konzentrationsdifferenz PM_1 Luv Lee, resp. Straße – Hintergrund (Messwerte)
ΔPM_{10}	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	= Konzentrationsdifferenz PM_{10} Luv Lee, resp. Straße – Hintergrund (Messwerte)
v	[m^2/h]	= Verdünnung
n_{LMW}	[1/h]	= Anzahl leichte Motorwagen
n_{SMW}	[1/h]	= Anzahl schwere Motorwagen

In der Tabelle 19 sind die Emissionsfaktoren der Schweiz dargestellt. Für den Flottenemissionsfaktor wurde wiederum eine Flotte, die sich aus 80% PKW und 20% LKW zusammensetzt, herangezogen.

Tabelle 19: Emissionsfaktoren der Schweiz (28)

Emissionsfaktoren der Schweiz für PM ₁₀ [g/km*Fzg]			
	Innerorts	Außerorts	Autobahn
PKW	0,039	0,033	0,047
SNF	0,383	0,207	0,074
Flotte	0,108	0,0678	0,0524

2.2.6 RAINS Modell

Das RAINS Modell wurde von der IIASA entwickelt. RAINS bedeutet Regional Air Pollution Information and Simulation. IIASA steht für Institut für Angewandte Systemanalyse. Dieses Institut mit Sitz in Laxenburg (Wien) befasst sich schon seit vielen Jahrzehnten mit Problemen aus der Wissenschaft, Politik oder dem sozialen Bereich. Das RAINS Modell sollte ursprünglich Möglichkeiten zur Reduktion des sauren Regens in Europa und Asien aufzeigen. (29)

Es wurden für das RAINS Modell Emissionsfaktoren ermittelt, die auf jenen von Lükewille et al (30) basieren. Lükewille et al (30) gibt Emissionsfaktoren für Straßen-, Bremsen und Reifenabrieb für die jeweilige Größenfraktion TSP, PM₁₀ und PM_{2,5} an. Die Werte sind in der Tabelle 17 angegeben.

Tabelle 20: Emissionsfaktoren nach Lükewille (30)

Reifenabrieb	TSP [g/km*Fzg]	PM ₁₀ [g/km*Fzg]	PM _{2,5} [g/km*Fzg]
PKW	0,0282	0,0032	0,0001
SNF	0,4280	0,0400	0,0020
Bremsenabrieb	TSP [g/km*Fzg]	PM ₁₀ [g/km*Fzg]	PM _{2,5} [g/km*Fzg]
PKW	0,0006	0,0005	0,0003
SNF	0,0275	0,0228	0,0071
Straßenabrieb	TSP [g/km*Fzg]	PM ₁₀ [g/km*Fzg]	PM _{2,5} [g/km*Fzg]
PKW	0,0060	0,0030	0,0016
SNF	0,0760	0,0380	0,0209

Die Emissionsfaktoren in der Tabelle 21 gelten für das RAINS Modell und sind gemäß den Emissionsfaktoren aus Tabelle 20 einfach aufsummiert. Der Flottenemissionsfaktor wurde über einen 80%igen PKW Anteil und einen 20%igen LKW Anteil berechnet.

Tabelle 21: Emissionsfaktoren des RAINS Modells

Nicht motorbedingte	PM _{2,5} [g/km*Fzg]	PM ₁₀ [g/km*Fzg]
PKW	0,0042	0,0067
SNF	0,0300	0,1008
Flotte	0,0094	0,0255

2.2.7 TNO Modell (22)

Die TNO ist eine unabhängige Forschungseinrichtung mit Sitz in den Niederlanden. In Zusammenarbeit mit der Europäischen Union wurde ein Überblick über Emissionsfaktoren entwickelt.

Das TNO Modell unterscheidet die Größenfraktionen PM_{10} und $PM_{2,5}$ und die Straßenkategorien Autobahn, Außerortsstraße und Innerortsstraße. Die Emissionsfaktoren für dieses Modell sind in den Tabellen 22 und 23 dargestellt.

Tabelle 22: Emissionsfaktoren des TNO Modells für $PM_{2,5}$

Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren	$PM_{2,5}$ [g/km*Fzg]	$PM_{2,5}$ [g/km*Fzg]	$PM_{2,5}$ [g/km*Fzg]
	Autobahn	Außerortsstraßen	Innerortsstraßen
PKW und LNF	0,0022	0,0048	0,0048
SNF	0,02	0,043	0,043
Flotte	0,0058	0,0125	0,0125

Tabelle 23: Emissionsfaktoren des TNO Modells für PM_{10}

Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren	PM_{10} [g/km*Fzg]	PM_{10} [g/km*Fzg]	PM_{10} [g/km*Fzg]
	Autobahn	Außerortsstraßen	Innerortsstraßen
PKW und LNF	0,022	0,048	0,048
SNF	0,198	0,432	0,432
Flotte	0,0527	0,125	0,125

2.2.8 CORINAIR Modell (31)

CORINAIR steht für Core Inventory of Air Emissions (31)

CORINAIR ist ein Projekt der EEA (European Environment Agency). Das Ziel dieses Projektes war es, ein Datenbanksystem über Emissionen und Luftschadstoffe aufzubauen.

Die Emissionsfaktoren für dieses Modell sind in der Tabelle 24 dargestellt:

Tabelle 24: Emissionsfaktoren der CORINAIR

Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren	PM _{2,5} [g/km*Fzg]	PM _{2,5} [g/km*Fzg]	PM ₁₀ [g/km*Fzg]	PM ₁₀ [g/km*Fzg]
	Autobahn	Innerortsstraßen	Autobahn	Innerortsstraße
PKW	0,011	0,017	0,022	0,036
SNF	0,050	0,085	0,103	0,154
Flotte	0,0188	0,0306	0,0240	0,060

2.2.9 Feldversuche des Ingenieurbüro Lohmeyer - Lohmeyer

Das Ingenieurbüro Lohmeyer, mit Sitz in Karlsruhe und Dresden, wurde 1983 gegründet und beschäftigt sich mit Themen der Luftreinhaltung, Klimatologie und Umwelttechnik. Dieses Büro ist Mitglied bei relevanten Forschungs- und Normungsgremien in Deutschland (32).

Dieses Ingenieurbüro hat Feldversuche an vier verschiedenen Straßen in Sachsen durchgeführt. Ein Feldversuch wurde an der Lützner Straße in Leipzig durchgeführt. Bei dieser Straße handelt es sich um eine Hauptverkehrsstraße mit einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen von 29.000 KFZ/Tag. Der Anteil an SNF beträgt ca. 4,5% und der Straßenzustand ist schlecht, da die Fahrbahn sehr rissig ist. Ein weiterer Standort war der Schlesische Platz. Bei dieser Straße handelt es sich um eine Straße im kreuzungsnahen Bereich mit einem durchschnittlichen Verkehrsaufkommen von 20.000 KFZ/Tag und einem SNF Anteil von ca. 6%. Weiters wurde die Bergstraße in Dresden untersucht. Bei dieser Straße handelt es sich um eine Hauptverkehrsstraße mit ebenfalls 20.000 KFZ/Tag, allerdings mit einem höheren SNF Anteil von ca. 13%. Die Zeppelinstraße in Görlitz ist eine Verbindungsstraße zwischen einem Autobahnzubringer und dem Stadtzentrum von Görlitz. Das Verkehrsaufkommen beträgt 25.000 KFZ/Tag und der Straßenzustand ist schlecht (22).

Das Ingenieurbüro Lohmeyer hat versucht Emissionsfaktoren für PM_{10} abzuleiten, diese sind in der Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 25: Emissionsfaktoren nach Lohmeyer (22)

Emissionsfaktoren nach Lohmeyer für PM_{10} in [g/km*Fzg]			
	Innerorts	Außerorts	Autobahn
PKW	0,05	0,022	0,022
SNF	0,45	0,2	0,2
Flotte	0,130	0,058	0,058

2.2.10 Feldversuche des IVT der TU Graz

Das IVT führte Feldversuche an verschiedenen Straßen in Klagenfurt durch (33). Ein Feldversuch wurde an der Keutschacher Straße im Stadtteil Viktring durchgeführt (Abbildung 8). Bei dieser Straße handelt es sich um eine Innerortsstraße. Hier wurde eine Luftgütemessung nach dem Luv Lee Prinzip durchgeführt, wobei die Anordnung der straßennahen Messstation (rot) und der Hintergrundmessstation (gelb) in der Abbildung 9 dargestellt ist. Diese Straße wird täglich von ungefähr 15.200 Kraftfahrzeugen mit einem 3%igen Schwerververkehrsanteil befahren. Die erlaubte Höchstgeschwindigkeit beträgt 50 km/h.



Abbildung 8: Lageplan der Keutschacherstraße (34)



Abbildung 9: Luftbild der Keutschacherstraße mit Hintergrundstation (gelb) und straßennaher Station (rot) (33)

In der Tabelle 26 werden die Emissionsfaktoren des Feldversuches an der Keutschacher Straße dargestellt (33).

Tabelle 26: Übersicht der Emissionsfaktoren der Keutschacherstraße (33)

Fahrzeugkategorie	PM ₁₀ [g/(km*Fzg)]
PKW	0,082
SNF	0,405

Ein weiterer Feldversuch wurde am Autobahnzubringer Mooskirchen durchgeführt. Bei dieser Straße handelt es sich um eine zweispurige, auf 100 km/h beschränkte Straße, mit einem Verkehrsaufkommen von 10.700 Fahrzeugen pro Tag und einem Schwerververkehrsanteil von 12 %. Dieser Autobahnzubringer könnte auch als Außerortsstraße deklariert werden. Es wurde wiederum eine Messung mit einer straßennahen (rot) und einer Hintergrundmessstation (gelb) durchgeführt.

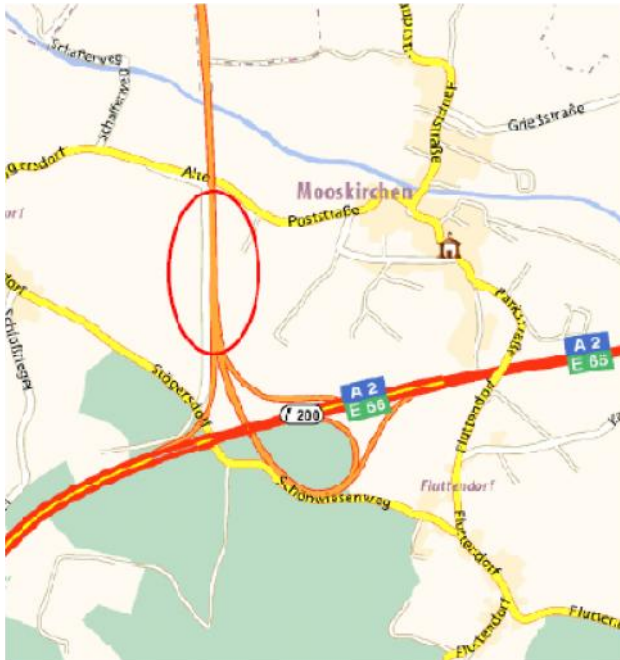


Abbildung 10: Lageplan des Autobahnzubringers Mooskirchen (34)

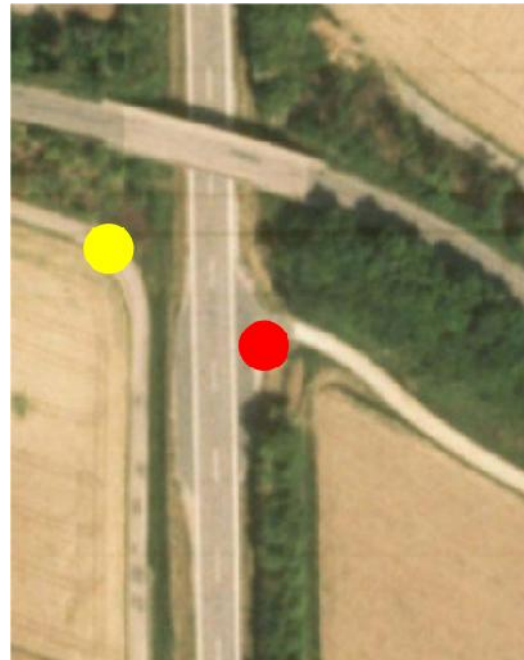


Abbildung 11: Luftbild des Autobahnzubringers Mooskirchen mit Hintergrundstation (gelb) und straßennaher Station (rot) (33)

Die Emissionsfaktoren des Autobahnzubringers Mooskirchen sind in der Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Emissionsfaktoren Mooskirchen (33)

Fahrzeugkategorie	PM ₁₀ [g/(km*Fzg)]
PKW	0,051
SNF	0,273

Als dritter Standort diente die Feldkirchner Straße im Klagenfurter Stadtteil Wölfnitz (Lageplan: Abbildung 12). Bei dieser Straße handelt es sich um eine Außerortsstraße mit einem Tempolimit von 80 km/h und einem Verkehrsaufkommen von 13.300 Fahrzeugen pro Tag und einem Schwerververkehrsanteil von 6 %.



Abbildung 12: Lageplan der Feldkirchner Straße (35)

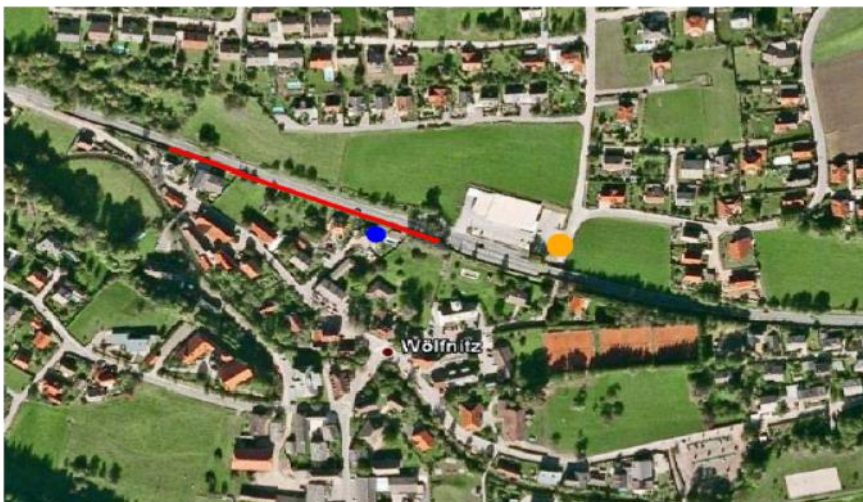


Abbildung 13: Luftbild der Feldkirchner Straße mit Hintergrundstation (gelb) und straßennaher Messstation (blau) (33)

Tabelle 28: Emissionsfaktoren Feldkirchner Straße (33)

Fahrzeugkategorie	PM ₁₀ [g/(km*Fzg)]
PKW	0,043
SNF	0,215

2.3 Vergleich der non exhaust Emissionsfaktoren der verschiedenen Modelle

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturrecherche miteinander verglichen. Teilweise streuen die Emissionsfaktoren der verschiedenen Modelle sehr stark. Ein Grund dafür ist, dass die Fahrbahnbeschaffenheiten stark variieren und die Fahrzeuge, die die Straßen befahren, unterschiedlich schwer sind.

2.3.1 Gegenüberstellung der non exhaust PKW Emissionsfaktoren für PM₁₀

In der Abbildung 14 werden die Emissionsfaktoren für PKW für die Größenfraktion PM₁₀ gegenübergestellt. Bei diesen Modellen werden die Emissionsfaktoren sowohl für die Straßentypen (Innerortsstraße, Außerortsstraße Autobahn) als auch für die jeweilige Partikelgrößenfraktion gesondert angegeben.

- **Innerortsstraßen**

Der Emissionsfaktor für die Innerortsstraße des US EPA Modells (blau) mit einem Wert von 1,195 g/km*Fzg ist im Vergleich zu den anderen Emissionsfaktoren um ein Vielfaches höher. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass die US EPA davon ausgeht, dass eine Innerortsstraße eine sehr hohe Staubbelastung, nämlich 1,41 g/m² aufweist. Daher ergibt sich für die Innerortsstraße ein so hoher Emissionsfaktor, der mit den übrigen Modellen nicht vergleichbar ist. Das Gleiche gilt für den Emissionsfaktor des modifizierten EPA Modells für die schlechte Straße (grün). Beim modifizierten EPA Modell wird neben den Straßentypen und den Größenfraktionen noch weiters in einen guten und schlechten Straßenzustand unterschieden. Der Emissionsfaktor für die schlechte Straße ist relativ hoch und ebenfalls nicht mit den Emissionsfaktoren der anderen Modelle vergleichbar. Der Emissionsfaktor des modifizierten EPA Modells für die gute Straße ist hingegen um ca. 70% niedriger als der der schlechten Straße. Er ist zwar etwas höher als die übrigen Emissionsfaktoren, liegt aber schon im vergleichbaren Bereich. Der Emissionsfaktor, der vom IVT auf der Keutschacherstraße (hellblau) ermittelt wurde, ist sehr gut mit dem Emissionsfaktor des modifizierten EPA Modells für die gute Straße vergleichbar.

• Außerortsstraße und Autobahn

Das CORINAIR Modell gibt keinen Emissionsfaktor für die Außerortsstraße an. Die Emissionsfaktoren der Außerortsstraße sind wieder, bis auf die des EPA Modells, des modifizierten EPA Modell für die schlechte Straße und des SMHI Modells, gut miteinander vergleichbar.

Bei der Autobahn liegen alle Emissionsfaktoren im Bereich von 0,02 bis 0,09 g/km, außer der Emissionsfaktor des SMHI Modells, dieser liegt weit darüber. Dies ist darauf zurückzuführen, dass in Schweden sehr viel mit Spikesreifen gefahren wird und dadurch der Straßenbelag stärker abgerieben wird.

Bei den Emissionsfaktoren der Schweiz und bei den Emissionsfaktoren, die das IVT (Feldversuche des IVT) ermittelt hat, ist der Emissionsfaktor für die Autobahn höher, als der der Außerortsstraße. Dies ist außergewöhnlich, da die Staubbelastung der Autobahn in der Regel niedriger ist als die der Außerortsstraße ist. Dieses Phänomen könnte entweder auf den Fahrbahnbelag, die Witterungsverhältnisse während der Messung oder durch andere klimatische Bedingungen zurückgeführt werden.

Die Emissionsfaktoren des TNO und des CORINAIR Modells für die Autobahn sind identisch, hier könnte es sein, dass sich ein Modell am anderen orientiert hat.

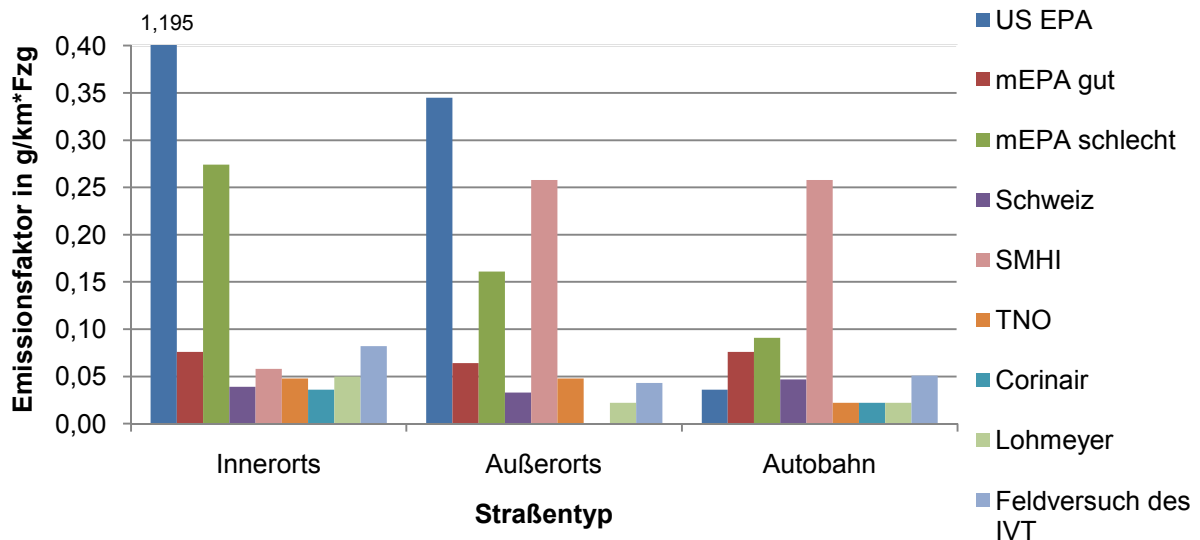


Abbildung 14: Emissionsfaktoren für PKW PM₁₀

In der Tabelle 29 werden die Ergebnisse der Emissionsfaktoren getrennt nach Straßentyp und Modell nochmals zusammengefasst.

Tabelle 29: Emissionsfaktoren für PKW PM₁₀

PKW PM ₁₀ [g/km*Fzg]			
	Innerorts (0 – 50 km/h)	Außerorts (51 – 100 km/h)	Autobahn (101 – 130 km/h)
US EPA (Tabelle 14)	1,195	0,345	0,036
mEPA gut (Tabelle 16)	0,076	0,064	0,076
mEPA schlecht (Tabelle 16)	0,274	0,161	0,091
Schweiz (Tabelle 19)	0,039	0,033	0,047
SMHI (Tabelle 17)	0,058	0,258	0,258
TNO (Tabelle 23)	0,048	0,048	0,022
CORINAIR (Tabelle 24)	0,036	-	0,022
Lohmeyer (Tabelle 25)	0,05	0,022	0,022
Feldversuch des IVT (Tabelle 26 - Tabelle 28)	0,082	0,043	0,051

2.3.2 Gegenüberstellung der non exhaust PKW Emissionsfaktoren für PM_{2,5}

In der Abbildung 15 werden die non exhaust Emissionsfaktoren für PKW für PM_{2,5} dargestellt. Diese Emissionsfaktoren sind um eine Größenordnung kleiner als die Emissionsfaktoren der Größenfraktion PM₁₀. Es gibt weniger Modelle, die Emissionsfaktoren für PM_{2,5} bereitstellen.

- **Innerortsstraße**

Der Faktor des US EPA Modells für die Innerortsstraße unterscheidet sich sehr stark zu den anderen Faktoren. Aber auch der Emissionsfaktor des CORINAIR Modells ist 3,5 mal so groß wie der Faktor des TNO Modells.

• Außerortsstraße und Autobahn

Das CORINAIR Modell gibt keinen Emissionsfaktor für die Außerortsstraße an. Der Emissionsfaktor des US EPA Modells ist auch um ein Vielfaches höher als der Faktor des TNO Modells. Die Faktoren für die Autobahn sind noch am Besten miteinander vergleichbar. Generell kann gesagt werden, dass die Emissionsfaktoren für $PM_{2,5}$ sehr stark streuen.

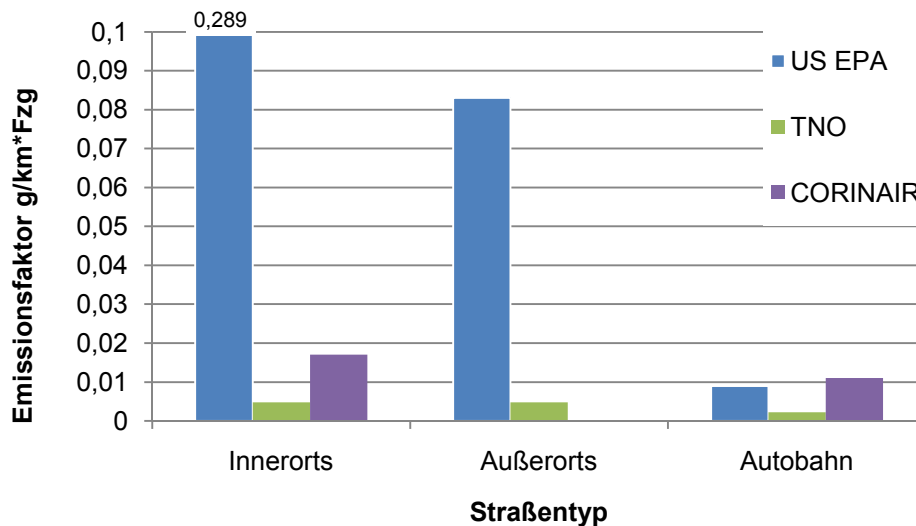


Abbildung 15: Emissionsfaktoren für PKW $PM_{2,5}$

In der Tabelle 30 werden die Ergebnisse der Emissionsfaktoren getrennt nach Straßentyp und Modell nochmals zusammengefasst.

Tabelle 30: Emissionsfaktoren für PKW $PM_{2,5}$

PKW $PM_{2,5}$ [g/km*Fzg]			
	Innerorts (0 – 50 km/h)	Außerorts (51 – 100 km/h)	Autobahn (101 – 130 km/h)
US EPA Tabelle 12)	0,2890	0,0830	0,0090
TNO (Tabelle 22)	0,0048	0,0048	0,0022
CORINAIR (Tabelle 24)	0,0170	-	0,0110

2.3.3 Gegenüberstellung der non exhaust SNF Emissionsfaktoren für PM_{10}

In der Abbildung 16 sind die non exhaust Emissionsfaktoren der schweren Nutzfahrzeuge der Größenfraktion PM_{10} dargestellt. Diese Emissionsfaktoren streuen sehr stark. Die Ergebnisse für das modifizierte EPA Modell für die schlechte Straße sind überaus hoch und können mit österreichischen Straßen nicht verglichen werden.

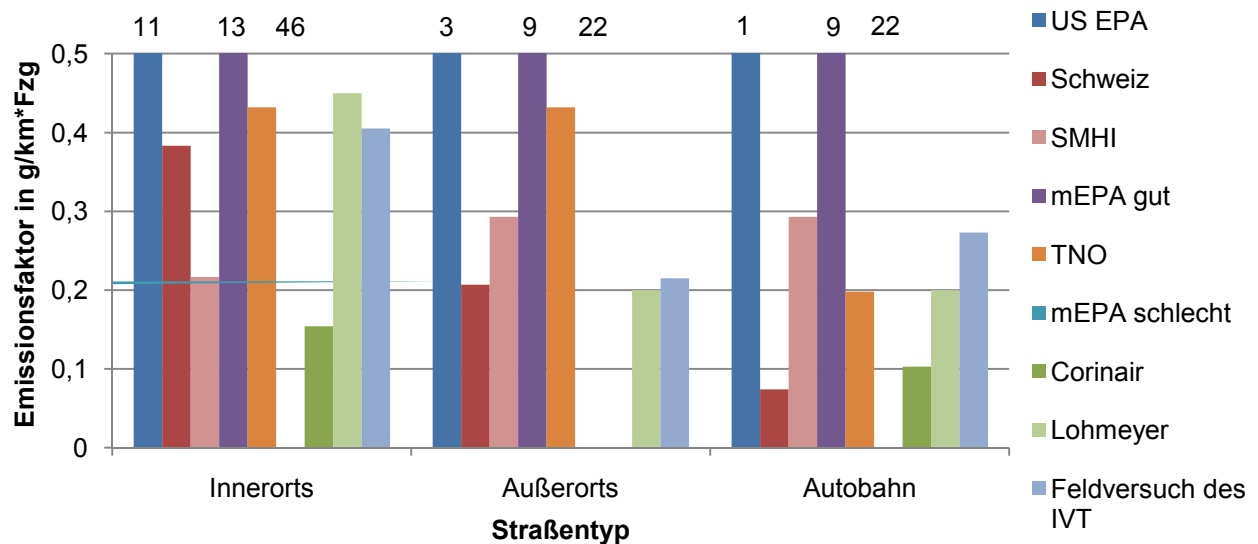
- **Innerortsstraße**

Für die Innerortsstraße sind die Emissionsfaktoren, die beim Feldversuch des IVT der TU Graz gemessen wurden, am Besten mit jenen des TNO Modells, der Schweiz und den Emissionsfaktoren nach Lohmeyer vergleichbar. Diese liegen im Bereich von 0,38 g/km*Fzg bis 0,4 g/km*Fzg.

- **Außerortsstraße und Autobahn**

Bei der Außerortsstraße sind ebenfalls die Emissionsfaktoren der Schweiz, nach Lohmeyer mit jenen vom Feldversuch des IVT am besten vergleichbar. Auch das SMHI Modell kommt noch für einen Vergleich in Frage. Der Faktor der TNO ist bei der Außerortsstraße in etwa doppelt so hoch im Vergleich zum Feldversuch des IVT und der Schweiz. Die Emissionsfaktoren des US EPA Modells und des modifizierten EPA Modells liegen sehr hoch.

Bei der Autobahn streuen die Faktoren sehr stark, am ehesten sind noch die Emissionsfaktoren der Schweiz mit jenen des CORINAIR Modells vergleichbar und der Feldversuch des IVT mit dem SMHI Modell. Auch die Emissionsfaktoren nach Lohmeyer sind mit den Emissionsfaktoren des TNO Modells vergleichbar. Auch bei dieser Kategorie liegen die Emissionsfaktoren des US EPA Modells und des modifizierten EPA Modells viel höher.

Abbildung 16: Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge PM₁₀

In der Tabelle 31 werden die Ergebnisse der Emissionsfaktoren getrennt nach Straßentyp und Modell nochmals zusammengefasst.

Tabelle 31: Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge PM₁₀

	SNF PM ₁₀ [g/km*Fzg]		
	Innerorts (0 – 50 km/h)	Außerorts (51 – 100 km/h)	Autobahn (101 – 130 km/h)
US EPA (Tabelle 14)	10,910	6,000	0,696
mEPA gut (Tabelle 16)	12,716	8,868	8,868
mEPA schlecht (Tabelle 16)	45,585	22,169	22,169
Schweiz (Tabelle 19)	0,383	0,207	0,074
SMHI (Tabelle 17)	0,2165	0,293	0,293
TNO (Tabelle 23)	0,432	0,432	0,198
CORINAIR (Tabelle 24)	0,154	-	0,103
Lohmeyer (Tabelle 25)	0,450	0,200	0,200
Feldversuch des IVT (Tabelle 26 - Tabelle 28)	0,405	0,215	0,273

2.3.4 Gegenüberstellung der non exhaust SNF Emissionsfaktoren für $PM_{2,5}$

In der Abbildung 17 sieht man eine Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge für $PM_{2,5}$. Diese Faktoren streuen noch stärker als für die größere Fraktion PM_{10} .

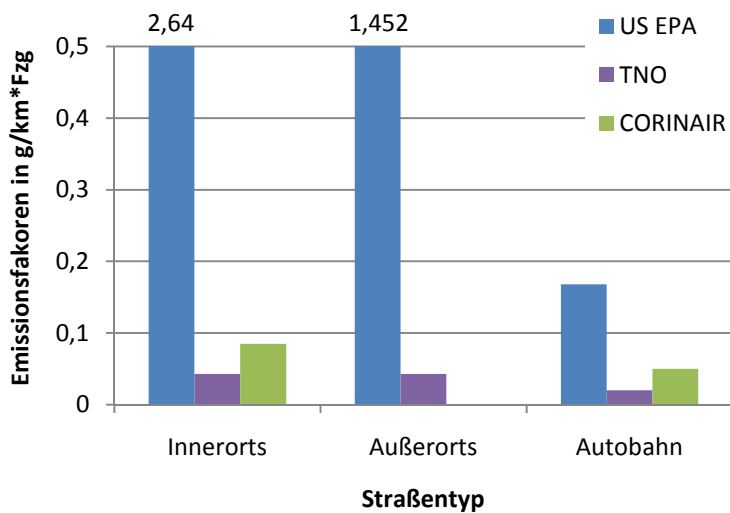


Abbildung 17: Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge $PM_{2,5}$

In der Tabelle 32 werden die Ergebnisse der Emissionsfaktoren getrennt nach Straßentyp und Modell nochmals zusammengefasst.

Tabelle 32: Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge $PM_{2,5}$

	SNF $PM_{2,5}$ [g/km*Fzg]		
	Innerorts (0 – 50 km/h)	Außerorts (51 – 100 km/h)	Autobahn (101 – 130 km/h)
US EPA (Tabelle 14)	2,640	1,452	0,168
TNO (Tabelle 22)	0,043	0,043	0,02
CORINAIR (Tabelle 24)	0,085	-	0,05

2.3.5 Gegenüberstellung der non exhaust Flottenemissionsfaktoren für PM_{10}

Für diesen Vergleich wurde eine Flottenzusammensetzung aus 20% LKW Anteil und 80% PKW Anteil angenommen. In der Abbildung 18 ist eine Gegenüberstellung der Flottenemissionsfaktoren für die Größenfraktion PM_{10} zu sehen. Die Emissionsfaktoren der Modelle der Schweiz, RAINS, CORINAIR, Lohmeyer, des IVT und der TNO sind sehr gut miteinander vergleichbar, die der US EPA und des modifizierten EPA Modells sind dazu im Vergleich unverhältnismäßig hoch.

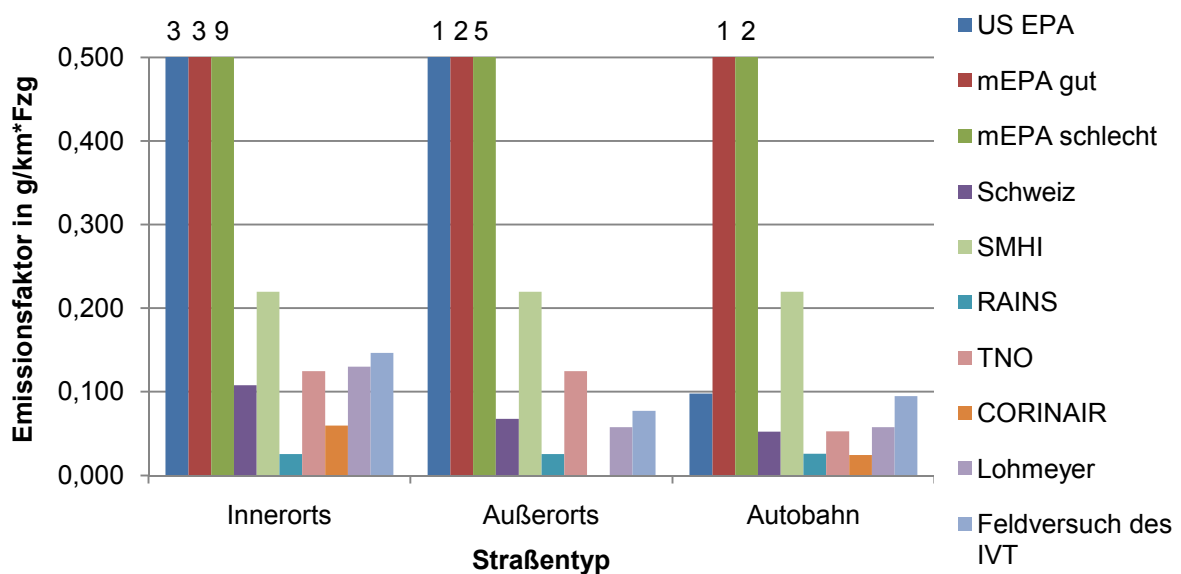


Abbildung 18: Emissionsfaktoren für die Flotte PM_{10}

In der Tabelle 33 sind nochmals die genauen Zahlenwerte der Emissionsfaktoren aufgelistet.

Tabelle 33: Flottenemissionsfaktoren für PM_{10}

Flotte PM_{10} [g/km*Fzg]			
	Innerorts	Außerorts	Autobahn
US EPA (Tabelle 14)	3,255	0,940	0,098
mEPA gut (Tabelle 16)	2,604	1,825	0,707
mEPA schlecht (Tabelle 16)	9,336	4,563	1,767
Schweiz (Tabelle 19)	0,108	0,068	0,052

SMHI (Tabelle 17)	0,220	0,287	0,287
RAINS (Tabelle 21)	0,026	0,026	0,026
TNO Tabelle 23)	0,125	0,125	0,053
CORINAIR (Tabelle 24)	0,060	-	0,024
Lohmeyer (Tabelle 25)	0,130	0,058	0,058
Feldversuch des IVT (Tabelle 26 - Tabelle 28)	0,147	0,077	0,095

2.3.6 Gegenüberstellung der non exhaust Flottenemissionsfaktoren für PM_{2,5}

In Abbildung 19 sieht man eine Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für die Flotte für PM_{2,5}. Wiederum sind jene des US EPA Modells und jene des CORINAIR Modells um einiges höher, als die des RAINS und des TNO Modells.

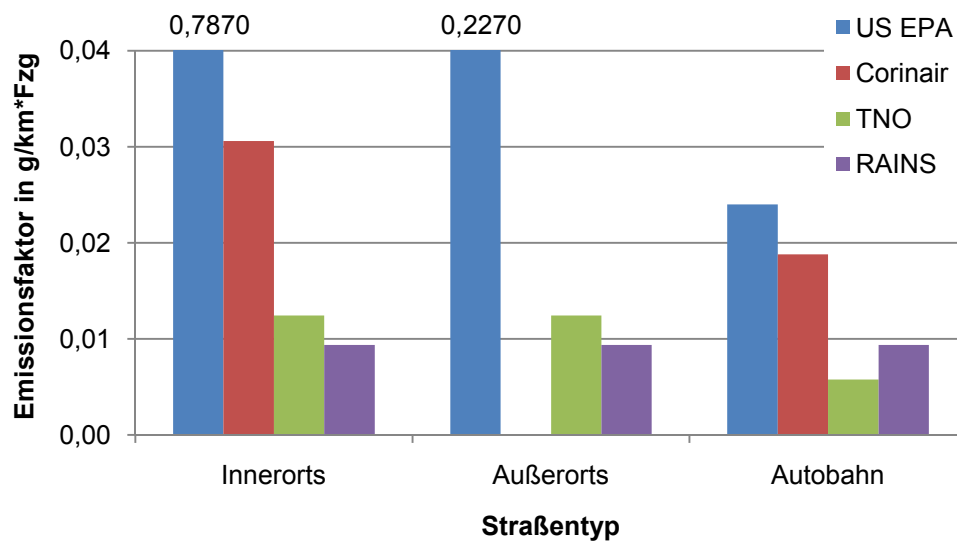


Abbildung 19: Emissionsfaktoren für die Flotte PM_{2,5}

Die genauen Werte, die in der Abbildung 19 dargestellt sind, sind in der Tabelle 34 nochmals aufgeführt.

Tabelle 34: Emissionsfaktoren für die Flotte PM_{2,5}

Flotte PM _{2,5} [g/km*Fzg]			
	Innerorts	Außerorts	Autobahn
US EPA (Tabelle 14)	0,7870	0,2270	0,0240
CORINAIR (Tabelle 24)	0,0306	-	0,0188
TNO (Tabelle 22)	0,0125	0,0125	0,0058
RAINS (Tabelle 21)	0,0094	0,0094	0,0094

Zusammenfassend kann festgestellt, dass die Emissionsfaktoren der verschiedenen Modelle sehr stark streuen. Die Emissionsfaktoren für die Größenfraktion PM_{2,5} streuen noch stärker, als die Emissionsfaktoren der Größenfraktion PM₁₀. Ein Vergleich der verschiedenen Modelle ist daher nur sehr eingeschränkt möglich. Die Emissionsfaktoren der US EPA sind sehr hoch und können mit den anderen Modellen nicht verglichen werden. Aufgrund dieser Vergleiche kann man sagen, dass die verschiedenen Berechnungsmethoden sehr großen Unsicherheiten unterworfen sind.

3. Untersuchungen zur Ableitung von Emissionsfaktoren

Eine der Hauptaufgaben im Rahmen der Diplomarbeit war es, Emissionsfaktoren für befestigte und unbefestigte Straßen zu ermitteln. In diesem Kapitel werden die Messmethoden, die Methoden zur Datenerhebung und die eingesetzte Messtechnik kurz vorgestellt.

3.1 Methoden zur Bestimmung von PM_x Emissionsfaktoren

Die PM_x Emissionsfaktoren werden von folgenden Faktoren beeinflusst (36):

- Straßenzustand (befestigte Straße, unbefestigte Straße)
- Fahrzeugkategorie (PKW, SNF)
- Straßentyp (Innerortsstraße, Außerortsstraße, Autobahn)
- Fahrzeugfrequenzen
- Meteorologie

Um eine Berechnung dieser PM_x Emissionsfaktoren möglich zu machen, muss zuerst eine Luv Lee Messung durchgeführt werden. Bei dieser Messung werden die PM_{10} und NO_x Einträge direkt an der Straße und an einer Messstation in einiger Entfernung (Hintergrundstation) gemessen. Die Abbildung 20 stellt die Prinzipskizze einer solchen Luv Lee Messanordnung dar. Die Windrichtung und –geschwindigkeit hat einen großen Einfluss auf die Messergebnisse. Im Idealfall wehen konstante Winde aus Richtung der Hintergrundmessstation in Richtung der straßennahen Messstation. In Ausnahmefällen kann auch mit Kalmern gerechnet werden. Kalmern sind Winde mit einer Windgeschwindigkeit die 0,8 m/s oder weniger betragen.(36), (33).

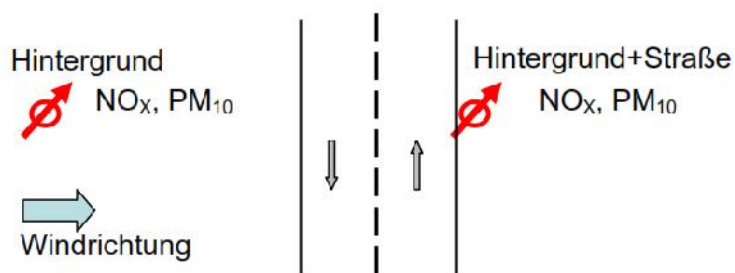


Abbildung 20: Prinzipskizze einer Luv Lee Messung (33)

Als Nächstes werden die Differenzbeträge ΔPM_{10} und ΔNO_x aus den Werten der straßennahen Messstation und der Hintergrundmessstation gebildet. In der Abbildung 21 ist das Berechnungsschema nochmals grafisch dargestellt, um es etwas einfacher verstehen zu können.

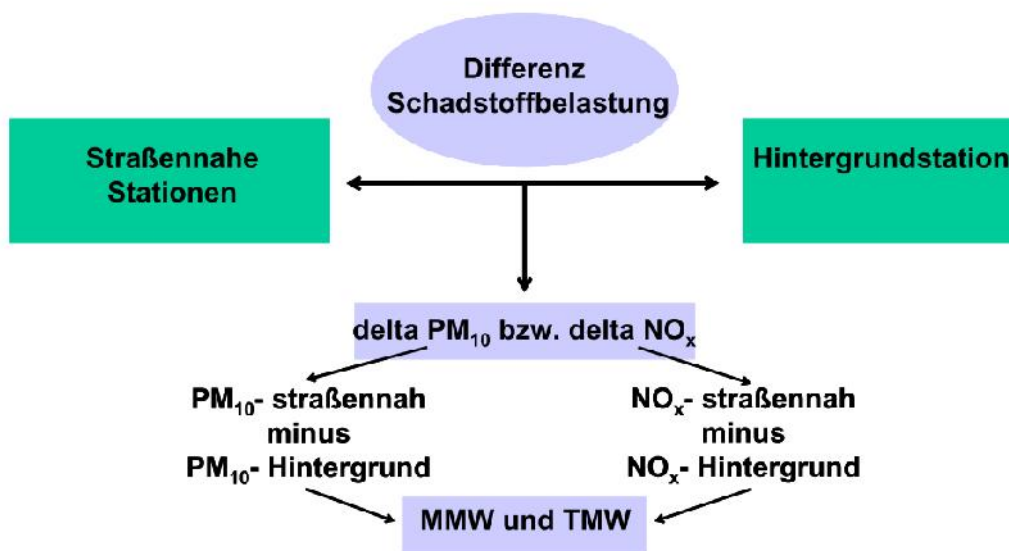


Abbildung 21: Berechnung des ΔPM_{10} und ΔNO_x

Um einen Emissionsfaktor ermitteln zu können, muss folgendes Berechnungsschema angewendet werden:

- **Ermittlung der gesamten PM_{10} Emissionen**

Als Erstes werden die gemessenen Verkehrszahlen, getrennt für PKW und SNF, mit den geschwindigkeitsabhängigen Emissionsfaktoren aus dem Emissionsmodell NEMO multipliziert. Daraus wird ein mittlerer Emissionsfaktor für NO_x gebildet, der mit dem Verhältnis $\frac{\Delta PM_{10}}{\Delta NO_x}$ multipliziert wird. Bei diesem Ergebnis handelt es sich um

die gesamten PM_{10} Emissionen, die durch ein Fahrzeug verursacht werden (exhaust und non exhaust). Um einen Emissionsfaktor nur für den non exhaust Anteil zu erhalten, muss der exhaust Anteil abgezogen werden. Der exhaust Anteil wird wiederum mit dem Ansatz *Emissionsfaktor* \times *Anzahl der Fahrzeuge* berechnet. Bildet man nun noch die Differenz aus der Emissionsmenge exhaust und non exhaust und der Emissionsmenge exhaust erhält man die Emissionsmenge des non exhaust Anteils. Hier die Berechnungsvorschrift in Formel 18 dargestellt:

Formel 18: Berechnung des Emissionsfaktors aus einer Luv Lee Messung

$$E_{NO_x,PKW} = EF_{NEMO,NO_x,PKW} \cdot \text{Anzahl PKW}$$

$$E_{NO_x,SNF} = EF_{NEMO,NO_x,SNF} \cdot \text{Anzahl SNF}$$

$$E(\text{exhaust} + \text{non exhaust}) = (E_{NO_x,PKW} + E_{NO_x,SNF}) \cdot \left(\frac{\Delta PM10}{\Delta NO_x} \right)$$

$$E(\text{exhaust}) = EF_{NEMO,PM_{10}} \cdot \text{Anzahl PKW} + EF_{NEMO,PM_{10}} \cdot \text{Anzahl SNF}$$

$$E(\text{non exhaust}) = E(\text{exhaust} + \text{non exhaust}) - E(\text{exhaust})$$

$$EF(\text{non exhaust}) = \frac{E(\text{non exhaust})}{(\text{Anzahl PKW} + \text{Anzahl SNF})}$$

$E_{NO_x,PKW}$	[g/km]	=	NO _x -Emissionsmenge für PKW
$E_{NO_x,SNF}$	[g/km]	=	NO _x -Emissionsmenge für SNF
$EF_{NEMO,NO_x,PKW}$	[g/km*Fzg]	=	Geschwindigkeitsabhängiger Emissionsfaktor für PKW
$EF_{NEMO,NO_x,SNF}$	[g/km*Fzg]	=	Geschwindigkeitsabhängiger Emissionsfaktor für SNF
$E(\text{exhaust} + \text{non exhaust})$	[g/km]		Emissionsmenge exhaust und non exhaust
$E(\text{exhaust})$	[g/km]		Emissionsmenge exhaust
$E(\text{non exhaust})$	[g/km]		Emissionsmenge non exhaust
$EF(\text{non exhaust})$	[g/km*Fzg]		Emissionsfaktor

3.2 Methoden zur Datenerhebung

Die Methodik zur Datenerhebung basiert auf dem Konzept einer Luv Lee Messung und einer Verkehrszählung. In weiterer Folge ist es möglich, Emissionsfaktoren zu bilden. Die Messung der Staubaufwirbelung, die durch das Vorbeifahren eines

Fahrzeuges entsteht, erfolgt mit den dem Stand der Technik entsprechenden Messgeräten, die im Kapitel 3.2.1 näher beschrieben werden.

Die NO_x Konzentrationen werden mit dem Verfahren der Chemilumineszenz ermittelt und der Feinstaub wird mittels Beta-Absorption bzw. gravimetrischen Verfahren gemessen.

Die zeitliche Auflösung der Daten variierte von Minutenmittelwerten bis Tagesmittelwerten. Diese war bei den jeweiligen Messstandorten sehr unterschiedlich und wird im Kapitel 4 noch genauer beschrieben.

3.3 Eingesetzte Messtechnik

Bei der eingesetzten Messtechnik handelt es sich um zertifizierte Messgeräte.

3.3.1 Datenerfassung

- **Airhopper**

Der Airhopper ist ein Gerät zur Sammlung und auch zur Überprüfung von Daten aus verschiedenen Luftgütemesssensoren. Mit Hilfe dieses Gerätes können Daten einfach über das Internet abgefragt und heruntergeladen werden. Die Bedienung des Airhoppers erfolgt ganz einfach über den Webbrowser eines Computers, es ist lediglich eine Internetverbindung notwendig. Aus technischer Sicht basiert der Airhopper auf einem Linux-PC und einer Standard-SQL-Datenbank. In der Abbildung 22 ist das Gerät dargestellt (37).



Abbildung 22: Airhopper (37)

- **Airpointer**

Mit dem Airpointer ist eine Messung der Luftschadstoffe NO_x , SO_2 , CO und O_3 möglich. Außer den Luftschadstoffen können noch Meteorologiedaten, wie Windrichtung und Windgeschwindigkeit, erfasst werden. Das Gerät ist für den Indoor- und Outdoorbereich geeignet. Die Datenübertragung erfolgt mittels WLAN Router oder GPRS Verbindung (38). In der Abbildung 23 und Abbildung 24 ist die Innenansicht des Airpointers dargestellt.

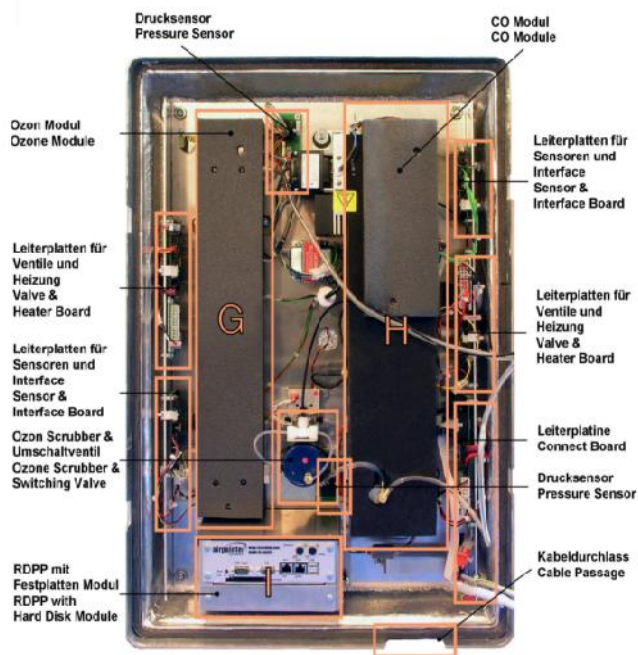


Abbildung 23: Innenansicht links (38)

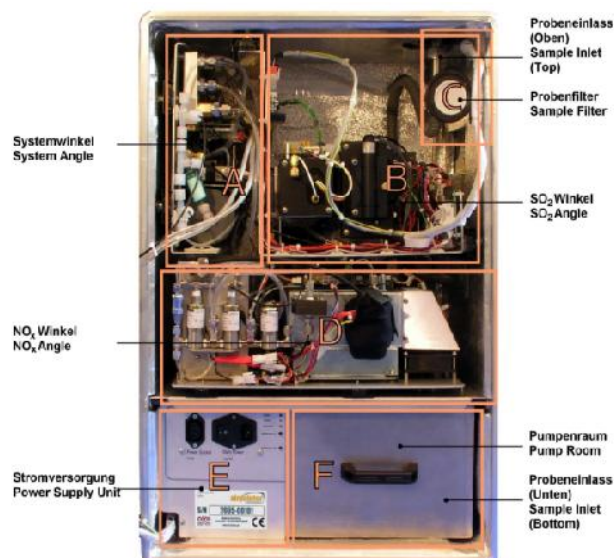


Abbildung 24: Innenansicht rechts (38)

Zur Stickoxidmessung wird die Chemilumineszenz eingesetzt. Das Funktionsprinzip des Airpointers beruht darauf, dass als Erstes die Umgebungsluft durch den Probeneingang gesogen wird. Anschließend wird der Hauptteil des Gases durch einen Schlauch zum Lüfter gesogen, um ein hohes Volumen an Probengas zu garantieren. Der kleinere Teil der Probe wird zu einem Filter und danach zu einem Trockner geführt. Die Abbildung 25 zeigt den Durchfluss durch das NO_x Modul. Die trockene gefilterte Luft wird über eine Systempumpe zur NO_x Reaktionszelle geführt. Dort reagiert die Probe mit dem Probengas (NO). Danach wird das Gas über einen Ozonerstörer, um das ausströmende Gas frei von O₃ zu halten, zum Ausgang des Airpointers geführt. In der Abbildung 26 ist ein NO_x Modul dargestellt. Die Abbildung 27 zeigt das Umwandlungsprinzip von NO zu NO₂ (38).

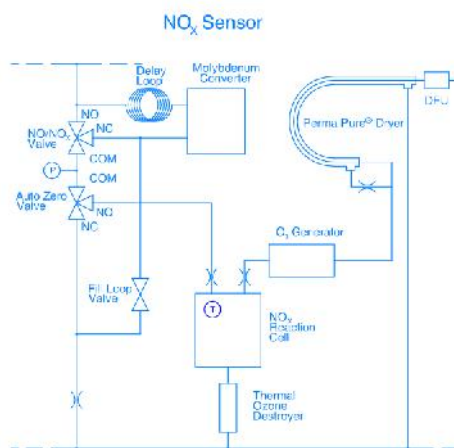


Abbildung 25: Schema des NO_x Sensors (38)

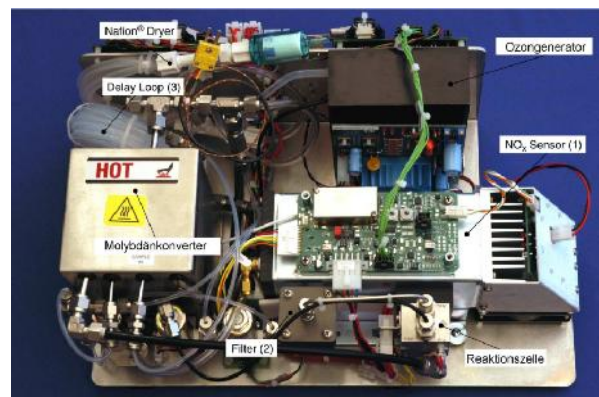


Abbildung 26: Ansicht des NO_x Moduls (38)

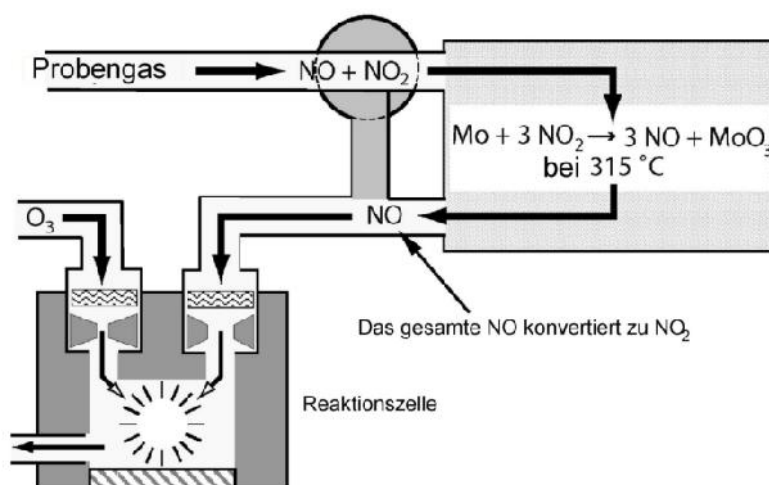


Abbildung 27: NO₂ Umwandlungsprinzip (38)

3.3.2 PM₁₀/PM_{2,5} Staubmessgerät

- **Thermo Sharp 5030**

Mit dem Thermo Sharp 5030 ist eine kontinuierliche PM Messung möglich. Die Klassifizierung nach Größe (PM₁₀ und PM_{2,5}) erfolgt über den jeweiligen Probennahmekopf. Das Messprinzip basiert auf einer Koppelung von Aerosol Lichtstreuung mit Beta-Strahlungs-Abschwächung. Eine Probe wird in PM₁₀ bzw. PM_{2,5} vorfraktioniert und anschließend durch ein Nephelometer geleitet. Das Ansprechverhalten des Nephelometers ist direkt proportional der Aerosolkonzentration. Als Nächstes wird die Probe über ein Glasfaserband gesaugt. Dadurch entsteht auf dem Glasfaserband eine Schwärzung, die je nach Partikelkonzentration heller oder dunkler ausfällt. Dieser Filterfleck wird von einer schwach radioaktiven Beta-Quelle durchstrahlt, je nachdem wie stark oder schwach die Strahlung abgeschwächt wird, kann auf die Partikelkonzentration geschlossen werden. Dieses Messgerät ist nach der EN12341 zertifiziert. Die Abbildung 28 zeigt ein Symbolbild des Sharp 5030. Die Abbildung 29 zeigt die Prinzipskizze eines solchen Staubmessgerätes (39).



Abbildung 28: Symbolbild eines Sharp 5030 (39)

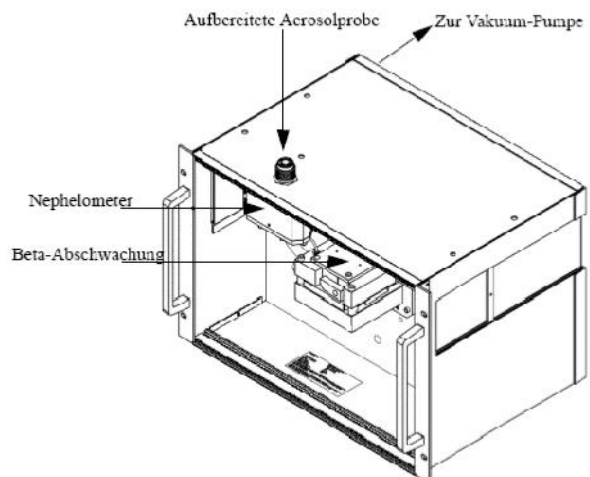


Abbildung 29: Prinzipskizze eines Sharp 5030 (39)

- **TEOM**

Die TEOM Staubmessgeräte messen mittels eines mit Aerosolen beladenen Schwingstabes, der auf Frequenzänderungen reagiert. Auch bei diesem Messgerät ist eine Unterscheidung der Größenfraktionen PM_{10} bzw. $PM_{2,5}$ möglich. Je nachdem welcher Messkopf montiert wird, gelangen über den Vorabscheider nur mehr Partikel der gewünschten Größenfraktion zum Messgerät. Die Partikel werden über einen Filter gesaugt, der auf einem hohlen, schwingenden Glasfaserstab sitzt. Je nach Staubbeladung des Filters ändert sich die Schwingfrequenz des Glasfaserstabes. Die Schwingfrequenz des Stabes ist direkt proportional der Staubbeladung. In der Abbildung 30 ist ein Symbolbild und in der Abbildung 31 eine Prinzipskizze des TEOM Messgerätes abgebildet (40).



Abbildung 30: Symbolbild TEOM (40)

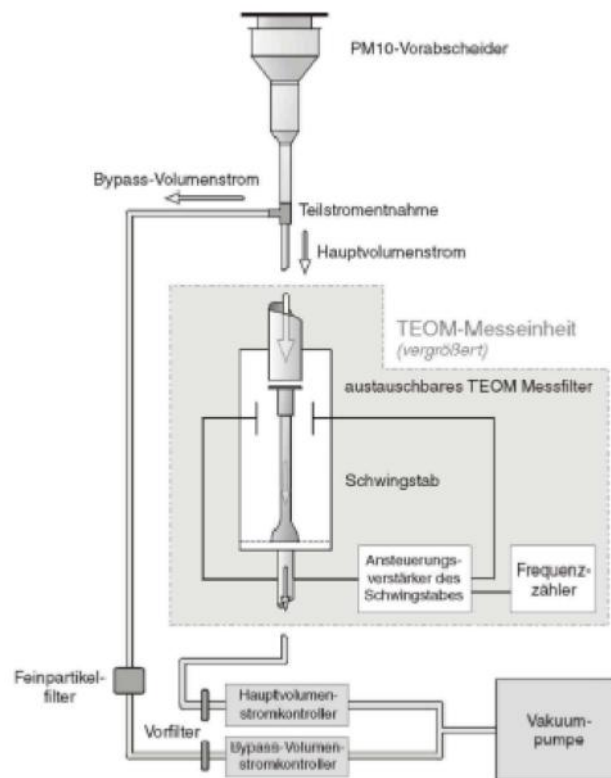


Abbildung 31: Prinzipskizze TEOM (40)

- **Low Volume Sampler (LVS)**

Mit einem Low Volume Sampler ist je nach Abscheider (Messkopf) sowohl eine $PM_{10}/PM_{2,5}/PM_1$ als auch eine Schwermetallmessung möglich. Das Gerät verfügt über 16 Membranfilter, einen Atmosphärendruckmesser, einen Durchflussregler und einen Umgebungstemperatursensor. Das Messprinzip des Low Volume Samplers beruht darauf, dass eine Probe durch den Membranfilter gesaugt wird, pro Tag wird ein Filter verwendet und anschließend in einem abgeschlossenen Behälter abgelegt. Dieser Aufbewahrungsbehälter ist vor etwaigen Umwelteinflüssen wie Staub, Hitze oder Nässe geschützt und gewährleistet so ein unverfälschtes Messergebnis. Um zu einem Ergebnis zu kommen, werden die Membranfilter vor und nach dem Einsatz mittels Feinwaage gewogen. Die sich ergebende Differenz entspricht der Masse [mg] des abgelagerten Staubs auf dem Filter, bezogen auf die Einsatzzeit jedes Filters, typischerweise 24 h. Über das Luftvolumen, das über jeden Filter gesaugt wurde, typischerweise $1 \text{ m}^3/\text{h}$, entspricht $24 \text{ m}^3/\text{d}$ kann auf die Massenkonzentration in der Luft geschlossen werden.

$$x \text{ mg} / 24 \text{ m}^3 \cdot 1000 \rightarrow y \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Der Vorteil dieser Methode ist es, dass zur Massenbestimmung des beprobten Filters nur eine Feinwaage notwendig ist.

Der Nachteil dieses Messgerätes ist es, dass man nur Tagesmittelwerte erhält und keine feinere zeitliche Auflösung möglich ist. Dieser Low Volume Sampler ist nach der EN12341 zertifiziert. In der Abbildung 32 ist ein Low Volume Sampler dargestellt. In der Abbildung 33 ist eine Detailansicht der Probennahme ersichtlich (41).



Abbildung 32: Symbolbild eines Low Volume Samplers (LVS) (41)



Abbildung 33: Ansicht des Low Volume Samplers von Innen (41)

3.3.3 NO-NO₂-NO_x-Analysator

Stickoxide werden auf Basis der Messung einer Chemilumineszenzreaktion erfasst. Dabei wird die Tatsache genutzt, dass bei einer Reaktion von NO und O₃ zu NO₂ eine charakteristische Lumineszenz entsteht, deren Intensität linear zur NO Konzentration im Proben gas ist. Um auch NO₂ messen zu können, muss dieses zunächst in NO konvertiert werden. Hierfür wird es mittels eines Molybdän Konverters in NO reduziert. Entsprechend verfügen die Messgeräte über zwei Kanäle. Einen Kanal, in dem NO direkt gemessen wird und ein zweiter Kanal, in dem der Molybdän Konverter sitzt. Dieser Kanal ermittelt die NO_x Konzentration, wobei NO₂ als NO vorliegt. Die tatsächliche NO₂ Konzentration ergibt sich in weiterer Folge als Differenz des NO_x Kanals mit der NO Messung. Das für die chemische Reaktion benötigte Ozon wird in einem eigenen Ozongenerator direkt im Messgerät bereitgestellt. Damit kein überschüssiges Ozon an die Umgebung abgegeben wird, verfügen die Messgeräte vor dem Auslass über einen Ozon Scrubber, der das überschüssige O₃ wieder reduziert. In der Abbildung 34 ist das Prinzip der Chemilumineszenz dargestellt (33).

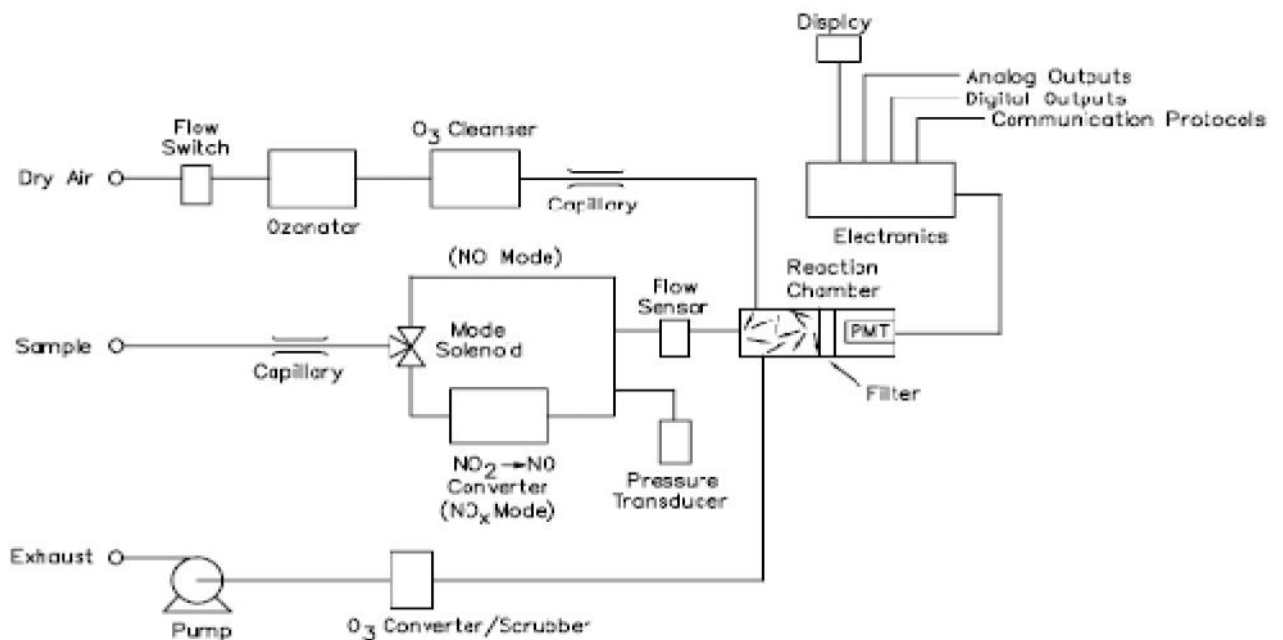


Abbildung 34: Prinzipskizze der Chemilumineszenz (33)

Zum Einsatz kamen folgende Messgeräte:

- **Thermo Instruments - Model 42i**

In der Abbildung 35 wird ein Symbolbild des Model 42i Messgerätes dargestellt. Dieses Messgerät ist nach der ÖNORM 14211 zertifiziert (42).



Abbildung 35: Symbolbild des Model 42i (42)

- **API 200 A**

In der Abbildung 36 ist ein Foto des API 200 A Messgerätes dargestellt. Dieses Messgerät ist ebenfalls nach der ÖNORM 14211 zertifiziert (43).



Abbildung 36: Symbolbild eines API 200 A (43)

3.3.4 Windgeschwindigkeitsmessung mittels Ultraschallanemometer – METEK USA 1

Da die Meteorologie einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse von Feldversuchen hat, können die notwendigen meteorologischen Parameter Windrichtung und Windgeschwindigkeit mittels Ultraschallanemometern ermittelt werden. Die eingesetzten Geräte haben eine Abtastrate von 1 Hz und sind standardisierte, meteorologische Instrumente. Sie arbeiten nach dem Laufzeitdifferenzverfahren, wobei ein Ultraschall in allen drei Achsen einen definierten Weg zwischen jeweils zwei Messköpfen zurücklegt. Die Ablenkung bzw. Laufzeitdifferenz ist ein direktes Maß für Windrichtung und Windgeschwindigkeit. Die Abbildung 37 zeigt ein Symbolbild eines solchen Ultraschallanemometers (44).



Abbildung 37: Bild eines Ultraschallanemometers (44)

3.3.5 Verkehrszählung - Data Collect Seitenradar (SDR)

Mit diesem Messgerät ist es möglich, den Verkehr berührungslos zu messen. Früher war es üblich, eine Verkehrszählung mit mobilen Induktionsschleifen oder Gummischläuchen auf der Fahrbahnoberfläche durchzuführen. Diese Messmethode birgt allerdings einige Gefahren und ist relativ schwierig zu installieren. Das Data Collect Seitenradar kann sehr einfach am Straßenrand positioniert werden und behindert so den Verkehrsfluss überhaupt nicht.

Mit diesem Gerät können alle Fahrzeuge in zwei Richtungen getrennt, mit Datum, Zeit, Geschwindigkeit, Länge und Fahrtrichtung erfasst werden. Es ist möglich, bis zu 1,6 Millionen Fahrzeuge pro Tag zu speichern. Die Datenerfassung kann im Online-Modus kontrolliert werden. Die Datenabfrage erfolgt entweder mittels Palm oder kabelloser Verbindung mittels GPRS oder Bluetooth. Dieses Gerät erlaubt

Einsatzzeiten von bis zu 21 Tagen. Die Abbildung 38 zeigt ein montiertes Messgerät (45).



Abbildung 38: Data Collect Seitenradar (SDR) (45)

4. Feldversuche - Messdaten

In diesem Abschnitt werden die Standorte, an denen Messungen durchgeführt wurden, näher vorgestellt.

4.1 Verwendete Messstellen in Klagenfurt

In Klagenfurt wurden Messungen an verschiedenen Straßen durchgeführt. Diese verschiedenen Standorte werden hier näher beschrieben.

4.1.1 Druckerweg (Sondermessung)

Die Abbildung 39 zeigt den Lageplan des Druckerwegs. Dieser liegt im Norden Klagenfurts und stellt eine Nord-Süd-Verbindung zwischen der Suppanstraße und der Magereggerstraße. Der Druckerweg wird von vielen Verkehrsteilnehmern als Abkürzung genutzt. Bei dieser Straße handelt es sich um eine Schotterstraße (Abbildung 41, Abbildung 42). Der Druckerweg wird von etwa 500 bis 550 Fahrzeugen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 43 km/h täglich befahren. Der LKW-Anteil beträgt etwa 14% und der PKW-Anteil 45%, der Rest sind Zweiräder oder Traktoren.

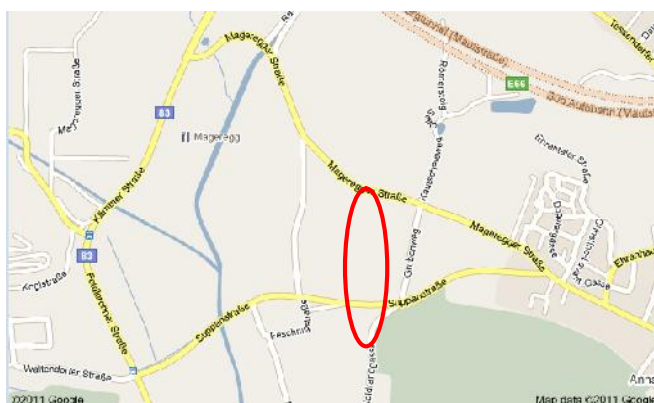


Abbildung 39: Lageplan des Druckerwegs (35)

Das angewandte Messprinzip beruht auf einer straßennahen Messstation und einer Hintergrundmessstation. Die Anordnung der Messstationen sind in der Abbildung 40 ersichtlich. Die straßennahe Messstation wurde direkt an der Straße positioniert (roter Punkt in der Abbildung 40, Abbildung 43, Abbildung 44) und die Hintergrundmessstation befand sich ungefähr 150 m östlich, in der Abbildung 40 mit einem gelben Punkt markiert. Die Staubmessung erfolgte mit einem Sharp Model 5030 und mit einem Low Volume Sampler. Für die Datenübertragung wurde ein Airpointer verwendet. Der Verkehr wurde mit einem Data Collect Seitenradar (SDR), siehe Abbildung 48 aufgenommen und dokumentiert. Alle hier verwendeten Geräte sind im Kapitel 3.2.1 *eingesetzte Messtechnik* näher beschrieben. Die Hintergrundmessstation, die in der Abbildung 45 dargestellt ist, wurde vom Magistrat Klagenfurt betrieben.



Abbildung 40: Anordnung der Messstationen am Druckerweg



Abbildung 41: Druckerweg, Blickrichtung Nord



Abbildung 42: Druckerweg, Blickrichtung Süd



Abbildung 43: Messaufbau straßennah



Abbildung 44: Messaufbau straßennah



Abbildung 45: Messcontainer der Hintergrundmessstation



Abbildung 46: Low Volume Sampler



Abbildung 47: Sharp Staubmessgerät



Abbildung 48: Data Collect Seitenradar (SDR)

Am Druckerweg wurden im Jahr 2009 und im Jahr 2010 Messungen durchgeführt.

Die erste Messperiode fand im Jahr 2009 statt. Die straßennahe Messstation wurde in der Zeit vom 23. Juni 2009 bis 26. August 2009 von der TU Graz betrieben. An dieser Messstation wurden die Luftschadstoffe NO, NO₂, PM₁₀ und die Meteorologiedaten Temperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit auf Basis von Halbstundenmittelwerten (HMW) kontinuierlich erfasst. Die Hintergrund Messstation wurde vom Magistrat Klagenfurt in der Zeit vom 1. August 2009 bis 26. August 2009 betrieben. Die Verfügbarkeit der PM₁₀ Daten ist in der Tabelle 35 dargestellt.

Tabelle 35: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs PM₁₀ für die straßennahe Messstation Druckerweg der TU Graz und die Hintergrundmessstation Druckerweg des Magistrats Klagenfurt

PM ₁₀						
Betreiber		Zeitraum [dd.mm.yyyy]	Gesamt [Anzahl]	Ausfälle [Anzahl]	Rest [Anzahl]	Verfüg- barkeit [%]
TU Graz	HMW	23.06.2009 – 26.08.2009	3094	35	3059	99 %
Magistrat Klagenfurt	HMW	23.06.2009 – 26.08.2009	1379	164	1215	88 %
TU Graz	TMW	01.08.2009 – 26.08.2009	65	2	63	97 %
Magistrat Klagenfurt	TMW	01.08.2009 – 26.08.2009	29	13	16	55 %

Auch die Verfügbarkeit der NO bzw. NO₂ Datensätze wurde beleuchtet. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 36 ersichtlich.

Tabelle 36: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs NO/NO₂ für die straßennahe Messstation Druckerweg der TU Graz und für die Hintergrundmessstation Druckerweg vom Magistrat Klagenfurt

NO/NO ₂						
Betreiber		Zeitraum [dd.mm.yyyy]	Gesamt [Anzahl]	Ausfälle [Anzahl]	Rest [Anzahl]	Verfüg- barkeit [%]
TU Graz	HMW	23.06.2009 – 26.08.2009	3094	83	3011	97 %
Magistrat Klagenfurt	HMW	01.08.2009 – 26.08.2009	1379	166	1213	88 %
TU Graz	TMW	23.06.2009 – 26.08.2009	65	5	60	92 %
Magistrat Klagenfurt	TMW	01.08.2009 – 26.08.2009	29	13	16	55 %

Zusätzlich wurde noch eine Verkehrsmessung in der Zeit von Anfang Juni bis Ende August durchgeführt, um eine Berechnung von Emissionsfaktoren zu ermöglichen.

Die zweite Messperiode wurde für die straßennahe Messstation in der Zeit von 30. August bis 9. September 2010 von der TU Graz betrieben. Die Hintergrundmessstation wurde vom Magistrat Klagenfurt in der Zeit von 10. August 2010 bis 19. September 2010 betrieben. Es wurden wiederum die Luftschadstoffe PM₁₀, NO, NO₂, und die Meteorologiedaten Temperatur, Windrichtung und Windgeschwindigkeit auf Basis von Halbstundenmittelwerten (HMW) kontinuierlich erfasst. Die Verfügbarkeit der Daten ist in der Tabelle 37 dargestellt.

Tabelle 37: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs PM₁₀ für die straßennahe Messstation Druckerweg der TU Graz und für die Hintergrundmessstation Druckerweg vom Magistrat Klagenfurt

PM ₁₀						
Betreiber		Zeitraum [dd.mm.yyyy]	Gesamt [Anzahl]	Ausfälle [Anzahl]	Rest [Anzahl]	Verfüg- barkeit [%]
TU Graz	HMW	30.08.2010 – 09.09.2010	506	74	432	85 %
Magistrat Klagenfurt	HMW	10.08.2010 – 19.09.2010	1968	1027	941	48 %
TU Graz	TMW	30.08.2010 – 09.09.2010	11	3	7	64 %
Magistrat Klagenfurt	TMW	10.08.2010 – 19.09.2010	41	4	37	90 %

Die Tabelle 38 zeigt die Verfügbarkeit der NO bzw. NO₂ Daten.

Tabelle 38: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs NO/NO₂ für die straßennahe Messstation Druckerweg der TU Graz und der Hintergrundmessstation Druckerweg des Magistrats Klagenfurt

NO/NO ₂						
Betreiber		Zeitraum [dd.mm.yyyy]	Gesamt [Anzahl]	Ausfälle [Anzahl]	Rest [Anzahl]	Verfüg- barkeit [%]
TU Graz	HMW	20.08.2010 – 20.09.2010	1027	52	1020	99 %
Magistrat Klagenfurt	HMW	10.08.2010 – 19.09.2010	1968	960	1008	51 %
TU Graz	TMW	20.08.2010 – 20.09.2010	41	0	41	100 %
Magistrat Klagenfurt	TMW	10.08.2010 – 19.09.2010	41	6	35	85 %

Außerdem wurde eine Verkehrszählung durchgeführt. Diese Verkehrszahlen sind aufgrund eines Fehlers im Datenmanagement nicht verfügbar. Deshalb war auch keine Emissionsfaktorenberechnung möglich.

4.1.2 Völkermarkterstraße (kontinuierliche Messung)

Die Völkermarkterstraße liegt im Zentrum Klagenfurts auf einer Seehöhe von 445 m (siehe Abbildung 49) und stellt aus Sicht der Emissionen einen „Hot-Spot“ dar. Die Feinstaubbelastung Klagenfurts, welche durch den Verkehr verursacht wird, wird mit dieser Messstation sehr gut abgebildet. Die Völkermarkterstraße wird täglich von etwa 22.760 Fahrzeugen mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 40 km/h befahren. Der Anteil des Schwerverkehrs liegt bei 3%. An der Völkermarkterstraße befindet sich eine ortsfeste Messstation. Diese Messstation misst SO_2 , PM_{10} , NO_2 , CO, NMHC, Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und seit dem Jahr 2005 auch $\text{PM}_{2,5}$.



Abbildung 49: Lageplan der Völkermarkterstraße (35)



Abbildung 50: Messstation Völkermarkterstraße (46)

4.1.3 Koschatstraße (kontinuierliche Messung)

Die Messstation der Koschatstraße ist eine ortsfeste Messstation und liegt auf einer Seehöhe von 440 m. Diese Messstation dient als städtische Hintergrundmessstation und misst die folgenden Schadstoffe: SO_2 , PM_{10} , NO_2 , CO, O_3 . Außerdem werden noch Meteorologiedaten wie Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Niederschlag gemessen. Diese und die folgenden Messstationen wurden vom Amt der Kärntner betrieben.



Abbildung 51: Lageplan der Koschatstraße (35)



Abbildung 52: Messstelle Koschatstraße (46)

Tabelle 39 und Tabelle 40 zeigt die Verfügbarkeit der Luftschadstoffdaten, die an der Völkermarkterstraße und an der Koschatstraße im Jahr 2009 gemessen wurden. Diese Messungen wurden vom Amt der Kärntner Landesregierung durchgeführt.

Tabelle 39: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs PM_{10} gemessen vom Amt der Kärntner Landesregierung

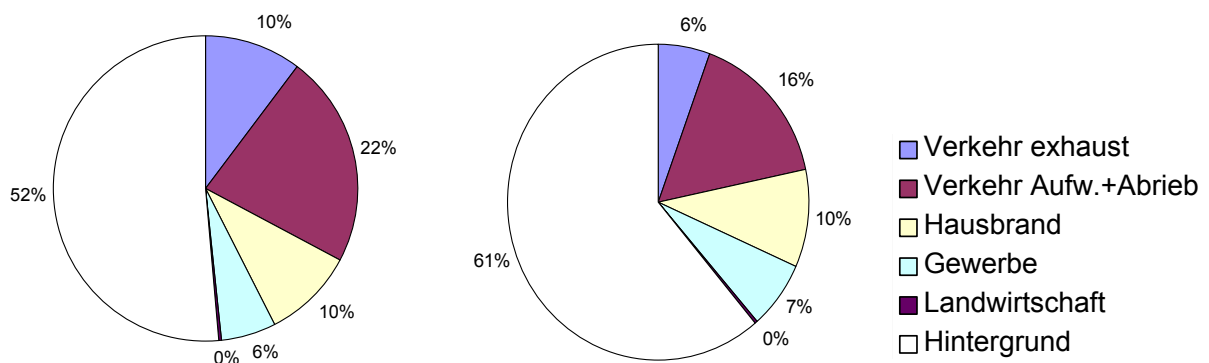
Messzeitraum 1. Jänner bis 31. Dezember 2009					
PM_{10}		Gesamt [Anzahl]	Ausfälle [Anzahl]	Rest [Anzahl]	Verfügbarkeit [%]
Völkermarkterstraße	HMW	17.522	247	17.275	99 %
Koschatstraße	HMW	17.522	66	17.456	100 %
Völkermarkterstraße	TMW	365	10	355	97 %
Koschatstraße	TMW	365	2	363	99 %

Tabelle 40: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs NO/NO₂ gemessen vom Amt der Kärntner Landesregierung

Messzeitraum 1. Jänner bis 31. Dezember 2009					
NO/NO ₂		Gesamt [Anzahl]	Ausfälle [Anzahl]	Rest [Anzahl]	Verfügbarkeit [%]
Völkermarkterstraße	HMW	17.522	973	16.549	94 %
Koschatstraße	HMW	17.522	706	16.816	96 %
Völkermarkterstraße	TMW	365	12	353	97 %
Koschatstraße	TMW	365	1	364	100 %

Eine genaue Aufzeichnung des Verkehrs fand nicht statt. Allerdings konnte uns das Amt der Kärntner Landesregierung die Anzahl der durchschnittlich gefahrenen Fahrzeuge auf der Völkermarkterstraße nennen.

Bei der Datenanalyse fungierte die Völkermarkterstraße als straßennahe Messstation und die Koschatstraße als Hintergrundmessstation. Das Problem bei Messstationen im städtischen Gebiet ist, dass die PM₁₀ Konzentrationen nicht nur vom Straßenverkehr sondern von vielen anderen Emittenten verursacht werden. Die genaue Quellenzuordnung der PM₁₀ Konzentrationen sind in den Abbildungen 53 und 54 dargestellt. Ein Vergleich von zwei Messstationen ist somit nur sehr schwer möglich. Die Völkermarkterstraße und die Koschatstraße können allerdings sehr gut miteinander verglichen werden, da sich die PM₁₀ Emittenten sehr ähnlich zusammensetzten, wie man in den nachfolgenden Abbildungen sehr gut sehen kann.

Abbildung 53: Quellgruppen der PM₁₀-Konzentration der Völkermarkterstraße (47)Abbildung 54: Quellgruppen der PM₁₀-Konzentration der Koschatstraße (47)

4.2 Verwendete Messstellen in Lienz

In Lienz wurden Messungen verschiedenen Straßen durchgeführt. Es wurde eine Sondermessung am Brennerleweg und kontinuierliche Messungen an der Amlacherkreuzung und am Tiefbrunnen durchgeführt.

4.2.1 Brennerleweg (Sondermessung)

Der Brennerleweg ist eine Schotterstraße. Die Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrzeuge, die diese Straße befahren, beträgt ca. 27 km/h. Die Straße wird von etwa 250 Fahrzeugen pro Tag befahren, davon sind ca. 49% der Fahrzeuge PKW, ca. 16% LNF und der Rest entfällt auf Traktoren und Zweiräder.



Abbildung 55: Messaufbau am Brennerleweg



Abbildung 56: Messaufbau am Brennerleweg

Am Brennerleweg wurde im Jahr 2010 eine Luftschadstoff- und Meteorologiedatenmessung in der Zeit vom 25. September bis 15. November 2010 durch die TU Graz durchgeführt. Die Messstation Tiefbrunnen wurde vom Amt der Tiroler Landesregierung betrieben. Diese Messstation diente als Hintergrundmessstation. An dieser Messstation wurde eine Messung in der Zeit vom 1. Oktober 2009 bis 10. August 2010 durchgeführt. Die PM₁₀-Messung erfolgte gravimetrisch, daher sind nur Tagesmittelwerte verfügbar. Die Verfügbarkeit der Daten ist in der Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs PM₁₀ für die straßennahe Messstation Brennerleweg der TU Graz und der Hintergrundmessstation Brennerleweg des Amtes der Tiroler Landesregierung

PM ₁₀						
Betreiber		Zeitraum [dd.mm.yyyy]	Gesamt [Anzahl]	Ausfälle [Anzahl]	Rest [Anzahl]	Verfüg- barkeit [%]
TU Graz	HMW	25.09.2010 – 15.11.2010	2476	5	2471	100 %
Amt der Tiroler Landes- regierung	HMW	-	-	-	-	-
TU Graz	TMW	25.09.2010 – 15.11.2010	51	0	51	100 %
Amt der Tiroler Landes- regierung	TMW	01.10.2009 – 10.08.2010	314	51	263	84 %

Die Verfügbarkeit der NO bzw. NO₂ Daten ist in der Tabelle 42 ersichtlich.

Tabelle 42: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs NO/NO₂ für die straßennahe Messstation Brennerleweg der TU Graz und der Hintergrundmessstation Brennerleweg des Amtes der Tiroler Landesregierung

NO/NO ₂						
Betreiber		Zeitraum [dd.mm.yyyy]	Gesamt [Anzahl]	Ausfälle [Anzahl]	Rest [Anzahl]	Verfüg- barkeit [%]
TU Graz	HMW	25.09.2010 – 03.11.2010	1910	13	1897	99 %
Amt der Tiroler Landes- regierung	HMW	01.10.2009 – 12.09.2010	16.657	333	16.324	98 %
TU Graz	TMW	25.09.2010 – 03.11.2010	40	1	39	98 %
Amt der Tiroler Landes- regierung	TMW	01.10.2009 – 12.09.2010	347	7	340	98 %

Auch am Brennerleweg wurden die vorbeifahrenden Fahrzeuge dokumentiert. Diese Verkehrszahlen konnten validiert und zur Berechnung von Emissionsfaktoren verwendet werden.

4.2.2 Amlacherkreuzung (kontinuierliche Messung)

Die Messstation Amlacherkreuzung wird vom Amt der Tiroler Landesregierung betrieben. Diese Station befindet sich auf einer Seehöhe von 675 m und erfasst folgende Schadstoffe: SO₂, CO, NO₂, NO und PM₁₀ (kontinuierlich und gravimetrisch).



Abbildung 57: Lageplan der Amlacherkreuzung (48)

Abbildung 58: Messstation Amlacherkreuzung
Ansicht Nord-Ost (48)Abbildung 59: Messstation Amlacherkreuzung
Ansicht Süd (48)

4.2.3 Tiefbrunnen (kontinuierliche Messung)

Die Messstation Tiefbrunnen wird vom Amt der Tiroler Landesregierung betrieben. Diese Messstation dient als Hintergrundmessstation und es werden die folgenden Luftschadstoffe und Meteorologiedaten gemessen: O_3 , PM_{10} (gravimetrisch), NO_x , Globalstrahlung, Temperatur, Windrichtung, Windgeschwindigkeit und relative Feuchte.



Abbildung 60: Lageplan der Messstation Tiefbrunnen (48)



Abbildung 61: Messstation Tiefbrunnen
Ansicht von Westen (48)



Abbildung 62: Messstation Tiefbrunnen Ansicht
von Norden (48)

Das Amt der Tiroler Landesregierung führte Luftschadstoffmessungen an der Amlacherkreuzung, als straßennahe Messstation, und am Tiefbrunnen, als Hintergrundmessstation, durch. Der Messzeitraum dafür war Oktober 2009 bis Dezember 2010. Die Datenverfügbarkeit ist in den Tabelle 43 und 44 dargestellt.

Tabelle 43: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs PM₁₀ gemessen vom Amt der Tiroler Landesregierung

PM ₁₀						
		Zeitraum [dd.mm.yyy]	Gesamt [Anzahl]	Ausfälle [Anzahl]	Rest [Anzahl]	Verfüg- barkeit [%]
Amlacher- kreuzung	HMW	01.10.2009–31.12.2010	21.938	199	21.732	99 %
Tiefbrunnen	HMW	01.10.2009–12.09.2010	-	-	-	-
Amlacher- kreuzung	TMW	01.10.2009–31.12.2010	457	0	457	100%
Tiefbrunnen	TMW	01.10.2009–12.09.2010	314	51	263	84 %

Die Verfügbarkeit der Luftschadstoffe NO bzw. NO₂ sind in der Tabelle 44 dargestellt.

Tabelle 44: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs NO/NO₂ gemessen vom Amt der Tiroler Landesregierung

NO _x						
		Zeitraum [dd.mm.yyy]	Gesamt [Anzahl]	Ausfälle [Anzahl]	Rest [Anzahl]	Verfüg- barkeit [%]
Amlacher- kreuzung	HMW	01.10.2009–31.12.2010	21.938	251	21.687	99 %
Tiefbrunnen	HMW	01.10.2009–12.09.2010	-	-	-	-
Amlacher- kreuzung	TMW	01.10.2009–31.12.2010	457	4	453	99 %
Tiefbrunnen	TMW	01.10.2009–12.09.2010	457	0	457	100 %

5. Datenanalyse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der untersuchten Standorte näher beschrieben. Es werden Emissionsfaktoren für PKW, SNF und die Flotte abgeleitet.

5.1 Emissionsfaktoren der unbefestigten Straßen

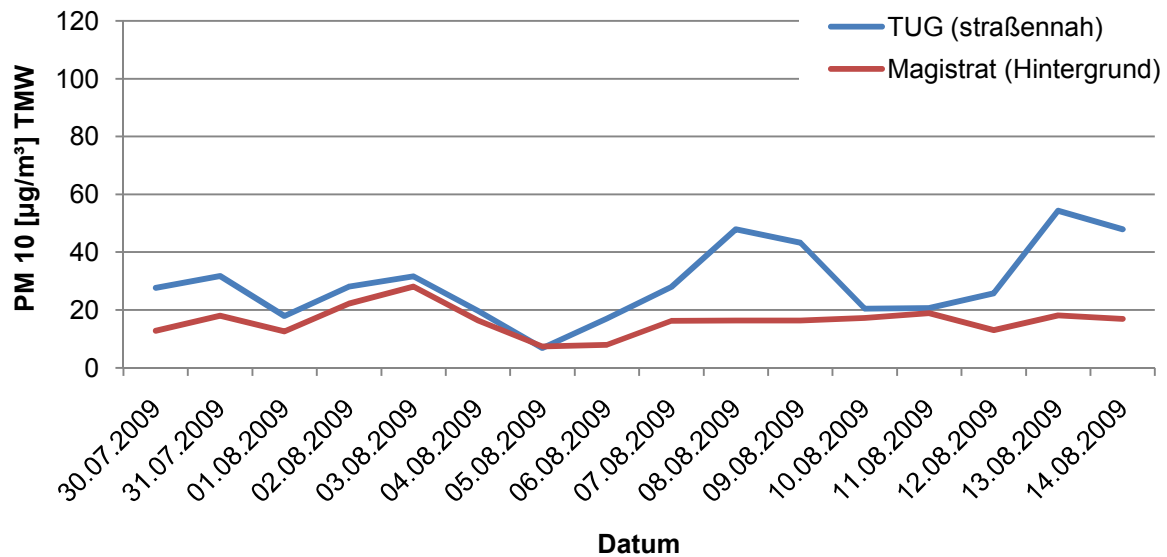
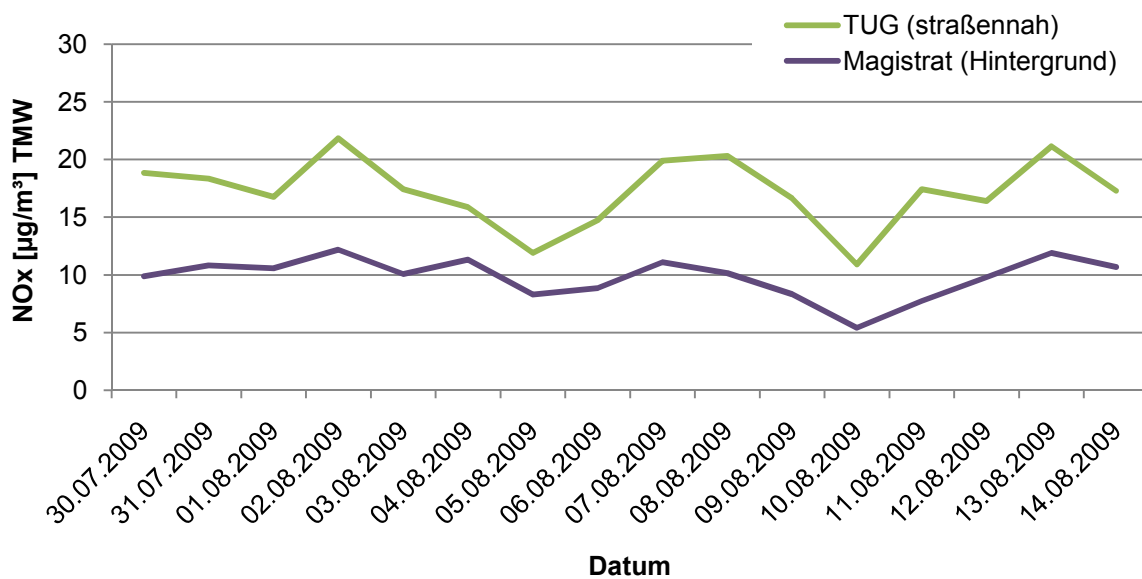
Beim Standort Klagenfurt wird der Druckerweg, als Beispiel für eine unbefestigte Straße beurteilt. Beim Standort Lienz war der Brennerleweg das Beispiel für eine unbefestigte Straße.

5.1.1 Klagenfurt - Druckerweg

Der Druckerweg wurde sowohl im Jahr 2009 als auch im Jahr 2010 untersucht. Hier in der Arbeit sollen beide Jahre bewertet werden. Als Erstes werden die Ergebnisse aus dem Jahr 2009 beschrieben.

Die Messung aus dem Jahr 2009 wurde aufbereitet und untersucht. Bei dieser Messung war es möglich, Emissionsfaktoren abzuleiten. Die Messungen beruhen auf einer straßennahen Messstation und einer Hintergrundmessstation, wobei die straßennahe Station von der TU Graz und die Hintergrundstation vom Magistrat Klagenfurt betrieben wurde. Hier konnten die Daten auf Basis von Halbstundenmittelwerten (HMW) ausgewertet werden. Da alle Daten auf HMW Basis vorlagen. Dadurch werden auch die Emissionsfaktoren genauer, da die Emissionen auf die jeweilige halbe Stunde und auf die jeweilig gefahrenen Fahrzeuge bezogen werden konnte.

Als Nächstes kommen wir zu den ermittelten Emissionsfaktoren. Die Vorgehensweise entspricht derjenigen, die im Kapitel 3 beschrieben wurde. Am Druckerweg wurde das Messprinzip einer straßennahen und einer Hintergrundmessstation gewählt. Die PM_{10} und NO_x Verläufe der straßennahen Messstation und der Hintergrundmessstation sind in den nachfolgenden Abbildungen zu sehen.

Abbildung 63: Vergleich der PM₁₀ Verläufe auf Basis TMWAbbildung 64: Vergleich der NO_x Verläufe auf Basis TMW

Aus der Differenz der PM₁₀ und NO_x Konzentrationen der straßennahen Messstation und der Hintergrundmessstation können nun die ΔPM_{10} bzw. ΔNO_x gebildet werden, welche zur Berechnung der Emissionsfaktoren notwendig sind.

Um zu einer exhaust Emissionsmenge zu gelangen, muss die Anzahl der PKW mit einem Emissionsfaktor aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA)

multipliziert werden. Diese Faktoren aus dem HBEFA sind nach Geschwindigkeitsklassen unterteilt und in der Tabelle 45 angeführt.

Tabelle 45: Emissionsfaktoren

Ø Geschwindigkeit [km/h]	EF Nemo NOx PKW [g/(km*Fzg)]	EF PM10 PKW [g/(km*Fzg)]	EF Nemo NOx SNF [g/(km*Fzg)]	EF PM10 SNF [g/(km*Fzg)]
10	0,783	0,089	15,029	0,800
20	0,611	0,089	9,055	0,604
30	0,508	0,056	6,624	0,317
40	0,436	0,031	5,383	0,237
50	0,381	0,021	4,603	0,200
60	0,363	0,021	4,603	0,200
70	0,381	0,021	4,603	0,200

In Abbildung 65 sieht man, wieviele PKW und SNF am Druckerweg pro Tag unterwegs waren. Die Anzahl der PKW und SNF ist eine wichtige Größe. Da sie direkt in die Emissionsfaktorenberechnung eingeht.

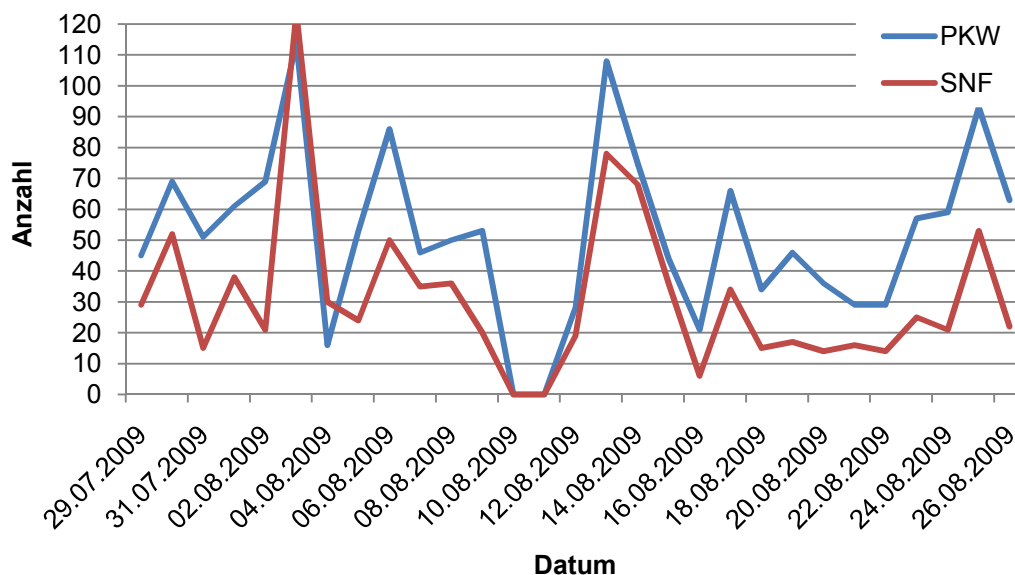


Abbildung 65: Verkehr am Druckerweg auf Basis TMW

In der Tabelle 46 sind die Zahlenwerte der exhaust und non exhaust Emissionsmengen, die aus dem Feldversuch am Druckerweg ermittelt wurden, dargestellt. Um ein möglichst genaues Ergebnis für die non exhaust Emissionsmenge zu erhalten, wurden sowohl die Luftgütedaten als auch die Verkehrszahl auf HMW Basis verwendet. Da die Messperiode vom 29. Juli 2009 bis zum 26. August 2009 dauerte und sich dadurch sehr viele HMWs ergeben, sind hier aus Platzgründen nur die Tage 29. Juli 2009 bis 31. Juli 2009 als exemplarisches Beispiel dargestellt. Die Berechnung der exhaust bzw. non exhaust Emissionsmengen erfolgte nach der Vorgehensweise, wie sie im Kapitel 3 beschrieben wurde.

Tabelle 46: exhaust und non exhaust Emissionsmengen

PKW + LKW			
Datum [TT.MM.JJJJ hh:mm]	exhaust & non exhaust [g/km]	exhaust [g/km]	non exhaust [g/km]
29.07.2009 03:00	5,761	0,131	5,629
29.07.2009 04:30	7,576	0,416	7,160
29.07.2009 05:00	29,573	0,706	28,867
29.07.2009 06:00	50,289	0,964	49,325
29.07.2009 10:30	22,247	0,483	21,764
29.07.2009 11:30	27,641	0,724	26,916
29.07.2009 12:00	21,858	0,492	21,366
29.07.2009 12:30	40,260	0,552	39,709
29.07.2009 20:00	10,306	0,136	10,170
29.07.2009 20:30	1,502	0,037	1,465
29.07.2009 21:00	6,336	0,183	6,153
29.07.2009 23:00	0,612	0,018	0,595
30.07.2009 03:00	7,095	0,131	6,964
30.07.2009 04:30	9,784	0,222	9,562
30.07.2009 05:00	16,937	0,270	16,666
30.07.2009 06:30	78,125	0,761	77,364
30.07.2009 07:00	43,341	0,925	42,416
30.07.2009 10:30	41,843	0,378	41,465

30.07.2009 11:00	47,205	0,341	46,864
30.07.2009 11:30	190,080	1,658	188,423
30.07.2009 12:00	2,666	0,054	2,613
30.07.2009 12:30	111,510	0,876	110,634
30.07.2009 13:00	45,208	0,772	44,436
30.07.2009 13:30	73,751	0,838	72,913
30.07.2009 19:30	8,323	0,233	8,091
30.07.2009 20:00	13,444	0,242	13,202
30.07.2009 22:30	70,065	0,292	69,773
31.07.2009 01:00	0,316	0,020	0,296
31.07.2009 02:00	0,596	0,020	0,577
31.07.2009 05:30	1,066	0,173	0,893
31.07.2009 06:00	22,544	0,673	21,870
31.07.2009 06:30	1,795	0,141	1,654
31.07.2009 08:00	29,748	0,613	29,136
31.07.2009 18:00	40,191	0,000	40,191
31.07.2009 19:00	19,044	0,317	18,726
31.07.2009 19:30	0,105	0,020	0,085

Es wurde ein Emissionsfaktor für PKW, einer für SNF und einer für die Flotte ermittelt. Die Ermittlung der PKW und SNF Emissionsfaktoren wurde folgendermaßen durchgeführt: Es wurden die jeweiligen halben Stunden herausgefiltert, in denen entweder nur PKW oder nur SNF gefahren sind. Die Emissionsmengen und Emissionsfaktoren für PKW sind in der Tabelle 47 dargestellt. Diese Emissionsfaktoren beziehen sich auf die jeweilige halbe Stunde.

Tabelle 47: PKW Emissionsfaktoren

Datum [dd.mm.yyyy hh:mm]	PKW [Anzahl]	Emissions- menge [g/km]	Emissions- faktor pro PKW [g/km*Fzg]
29.07.2009 20:30	2	1,465	0,732
29.07.2009 23:00	1	0,595	0,595

30.07.2009 12:00	3	2,613	0,871
31.07.2009 01:00	1	0,296	0,296
31.07.2009 02:00	1	0,577	0,577
31.07.2009 05:30	9	0,893	0,099
31.07.2009 06:30	7	1,654	0,236
31.07.2009 19:00	1	0,085	0,085
01.08.2009 19:00	1	0,423	0,423
01.08.2009 21:30	1	0,302	0,302
02.08.2009 04:30	2	0,908	0,454
02.08.2009 05:00	4	15,701	3,925
03.08.2009 04:00	2	0,279	0,139
06.08.2009 04:00	1	0,547	0,547
06.08.2009 05:30	9	4,911	0,546
07.08.2009 04:00	1	0,142	0,142
07.08.2009 06:00	11	2,734	0,249
08.08.2009 04:00	1	4,452	4,452
08.08.2009 20:00	3	1,118	0,373
09.08.2009 08:30	4	0,781	0,195
09.08.2009 11:00	8	4,387	0,548
12.08.2009 19:30	1	0,974	0,974
13.08.2009 04:30	3	9,372	3,124
14.08.2009 02:00	3	3,183	1,061
14.08.2009 20:00	4	0,978	0,245
14.08.2009 22:00	1	0,197	0,197
15.08.2009 04:00	1	0,836	0,836
15.08.2009 10:30	6	5,459	0,910
16.08.2009 04:00	1	1,008	1,008
16.08.2009 20:30	1	2,485	2,485
17.08.2009 22:00	1	0,434	0,434
19.08.2009 04:30	2	2,272	1,136

19.08.2009 20:00	1	1,151	1,151
19.08.2009 23:00	1	1,032	1,032
20.08.2009 20:30	2	1,280	0,640
21.08.2009 22:00	1	0,798	0,798
22.08.2009 07:30	10	2,606	0,261
22.08.2009 19:00	2	0,901	0,450
22.08.2009 21:30	1	0,774	0,774
22.08.2009 23:00	1	0,042	0,042
23.08.2009 07:00	5	9,566	1,913
23.08.2009 07:30	8	0,175	0,022
24.08.2009 22:00	1	1,408	1,408
25.08.2009 20:00	3	1,404	0,468
25.08.2009 21:00	1	6,205	6,205
25.08.2009 22:30	1	3,603	3,603
26.08.2009 05:00	5	0,973	0,195

Tabelle 48 stellt die Emissionsmengen und Emissionsfaktoren der SNF für die jeweiligen halben Stunden dar, in denen nur SNF die Straße befahren haben. Bei den SNF sind viel weniger Datensätze übrig geblieben, da der Druckerweg hauptsächlich von PKW befahren wird.

Tabelle 48: SNF Emissionsfaktoren

Datum [dd.mm.yyyy hh:mm]	PKW [Anzahl]	Emissions- menge [g/km]	Emissions- faktor pro PKW [g/km*Fzg]
29.07.2009 20:00	1	18,957	18,957
30.07.2009 19:30	2	9,882	4,941
31.07.2009 19:30	1	5,534	5,534
04.08.2009 22:30	1	1,656	1,656
06.08.2009 02:00	1	8,633	8,633
06.08.2009 22:00	1	16,513	16,513

06.08.2009 23:00	1	45,246	45,246
07.08.2009 04:30	2	161,664	80,832
07.08.2009 23:00	2	23,548	11,774
07.08.2009 23:30	1	30,035	30,035
12.08.2009 21:30	1	95,783	95,783
14.08.2009 23:30	1	8,949	8,949
15.08.2009 06:00	3	29,256	9,752
17.08.2009 00:00	1	21,085	21,085
18.08.2009 03:00	1	34,826	34,826
19.08.2009 20:30	1	22,354	22,354
20.08.2009 20:00	2	4,857	2,428
21.08.2009 22:30	1	20,464	20,464
22.08.2009 20:00	1	13,410	13,410
23.08.2009 19:30	2	69,569	34,785
23.08.2009 20:00	2	32,249	16,124
25.08.2009 19:30	2	73,581	36,791
25.08.2009 23:00	1	6,379	6,379

Tabelle 49 zeigt die Emissionsfaktoren, die am Druckerweg ermittelt werden konnten. Der PKW Emissionsfaktor wurde über die jeweiligen halben Stunden gemittelt, in denen nur PKW unterwegs waren. Der SNF Emissionsfaktor wurde gleich ermittelt. Der Flottenemissionsfaktor ergibt sich durch eine Mittelung über den gesamten Zeitraum. Die Ergebnisse für die berechneten Emissionsfaktoren sind in der Tabelle 49 angeführt.

Tabelle 49: Emissionsfaktoren Druckerweg

Fahrzeug- kategorie	PM ₁₀ [g/km*Fzg]
PKW	1,003
SNF	23,793
Flotte	7,751

Im Jahr 2010 kam es zu sehr großen Datenausfällen, sowohl bei den PM₁₀ Messungen als auch bei den NO_x Messungen. In der Abbildung 66 werden die PM₁₀ Messergebnisse der TU Graz und des Magistrates dargestellt. Die Werte, die von der TU Graz gemessen wurden, dienen als straßennahe Werte und die Werte, die vom Magistrat Klagenfurt gemessen wurden, waren die Messwerte der Hintergrundstation (Anordnung der Messstellen siehe Abbildung 40). Die Messergebnisse harmonisieren sehr gut, dh. dass die Hintergrundstation weniger Konzentration misst als die straßennahe Station. Allerdings bleiben nur wenige Tage für eine genauere Betrachtung übrig.

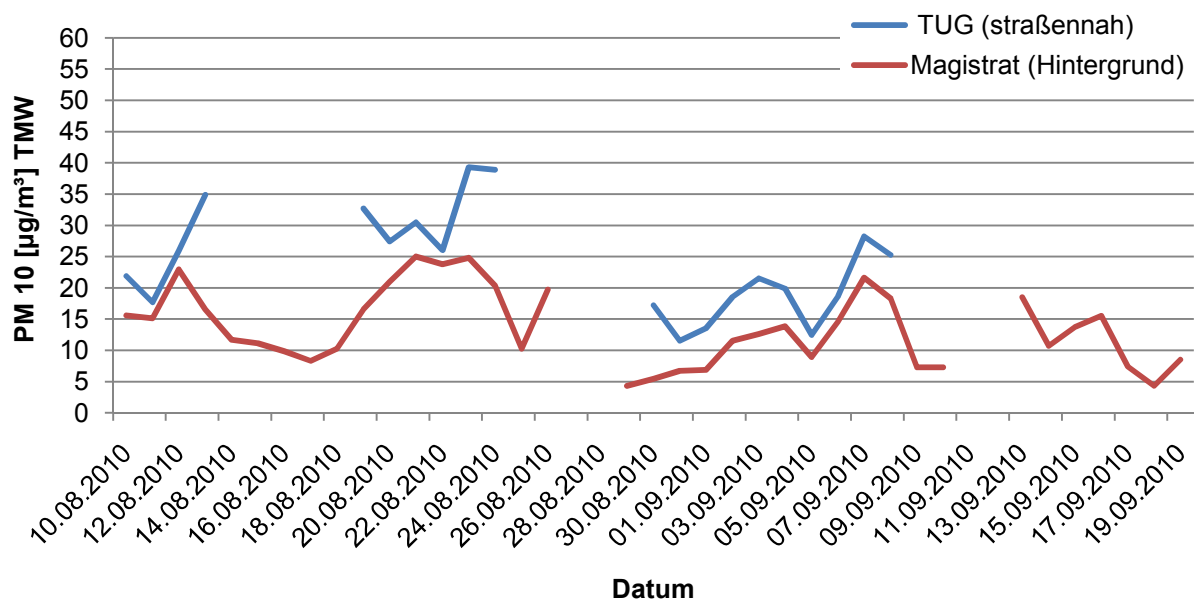


Abbildung 66: Vergleich der PM₁₀ Verläufe auf Basis TMW

Für eine verwertbare Messung müssen außerdem noch die ΔNO_x Werte miteinbezogen werden. Hier wurde wiederum die straßennahe Station von der TU Graz betrieben und die Hintergrundmessung vom Magistrat Klagenfurt durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 67 dargestellt. Das Problem bei diesen Ergebnissen ist, dass ab dem 30. August 2009 die Stickoxidkonzentrationen an der Hintergrundstation höher sind als an der straßennahen Station. Dafür können entweder Messfehler oder anderweitige Faktoren ausschlaggebend gewesen sein. Zu den anderweitigen Faktoren könnten gehören, dass der Wind zu stark war und deshalb die Messergebnisse verfälscht sind. Ein weitere Verfälschung könnte durch den Ausstoß von nicht verkehrsbedingten Emittenten, zB.: Fabriken verursacht werden.

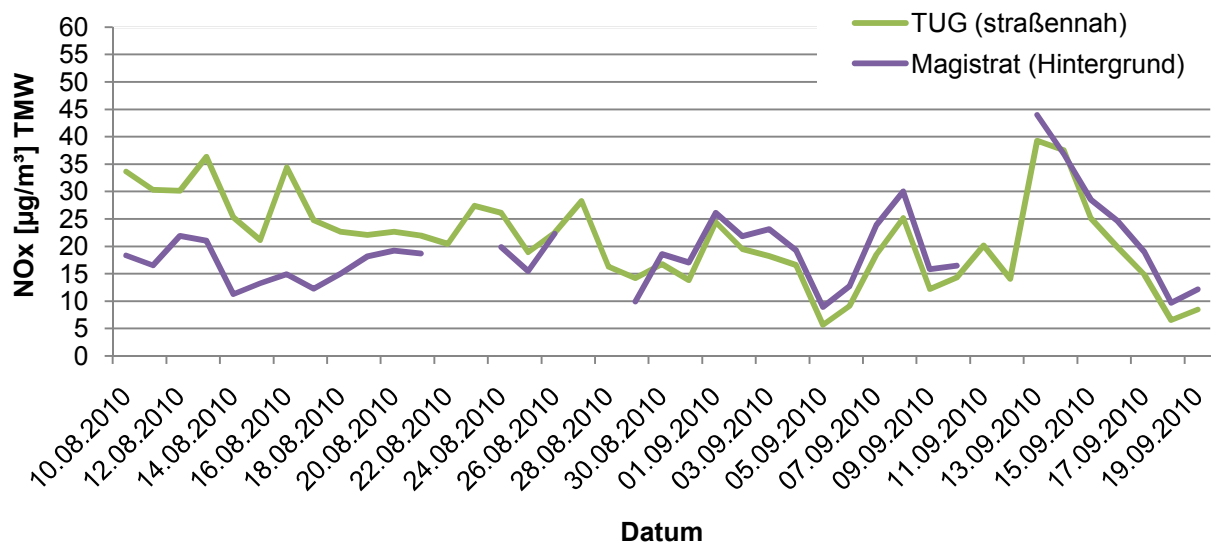


Abbildung 67: Vergleich der NO_x Verläufe auf Basis TMW

Um die Daten für die Messung zu komplettieren, fehlt noch eine Verkehrszählung. Diese wurde von der TU Graz durchgeführt. Allerdings kam es zu einem Datenausfall aufgrund eines Fehlers im Datenmanagement und daher gibt es nur Verkehrszahlen für den Zeitraum vom 10. August 2010 bis zum 19. September 2010.

Für diese Messung konnten leider keine Emissionsfaktoren abgeleitet werden.

5.1.2 Lienz - Brennerleweg

Die Messstation am Brennerleweg war in der Zeit von Mitte September bis Mitte November 2010 in Betrieb. Die Messungen an der Hintergrundstation Tiefbrunnen liefen von Anfang Oktober bis Mitte November. Der Vergleich der PM₁₀ Immissionen ist in der Abbildung 68 dargestellt. Die Messungen harmonisieren am Anfang sehr gut. Ab dem 11. Oktober 2010 bis zum 16. Oktober 2010 gibt es allerdings einen Sprung. Hier passen die Werte nicht sehr gut zusammen, dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Messung nicht richtig funktioniert hat, da der Wind zu stark war. Wenn man sich dazu die Meteorologiedaten dieser Zeit ansieht, ist zu erkennen, dass die Windgeschwindigkeit zwischen 2 km/h und 8 km/h betragen hat. Zum Ende der Messung Anfang November sind die Messergebnisse auch nicht verwertbar, da die Hintergrundmessstation teilweise höhere PM₁₀ Konzentrationen misst, als die straßennahe Messstation. Der Grund dafür könnten andere Emittenten als der Verkehr sein. Diese anderen Emittenten könnten zum Beispiel Heizungen sein, da im Oktober und Anfang November schon geheizt wird.

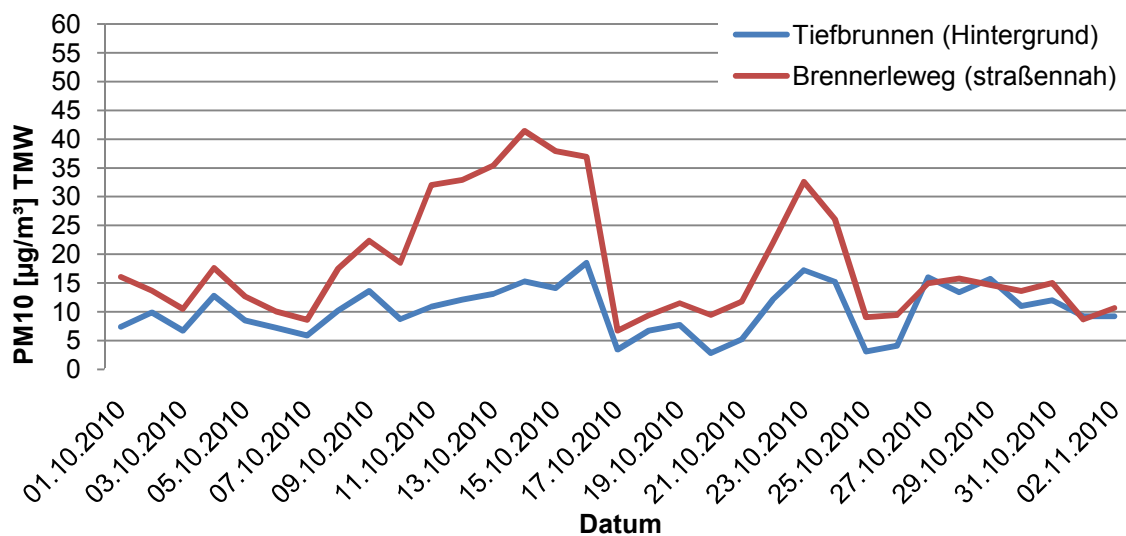


Abbildung 68: Vergleich der PM₁₀ Verläufe auf Basis TMW

Die Abbildung 69 zeigt die Stickoxidverläufe der straßennahen und der Hintergrundmessstation am Brennerleweg. Generell sollte die straßennahe Messstation (grün) mehr Konzentration messen, als die Hintergrundstation (violett).

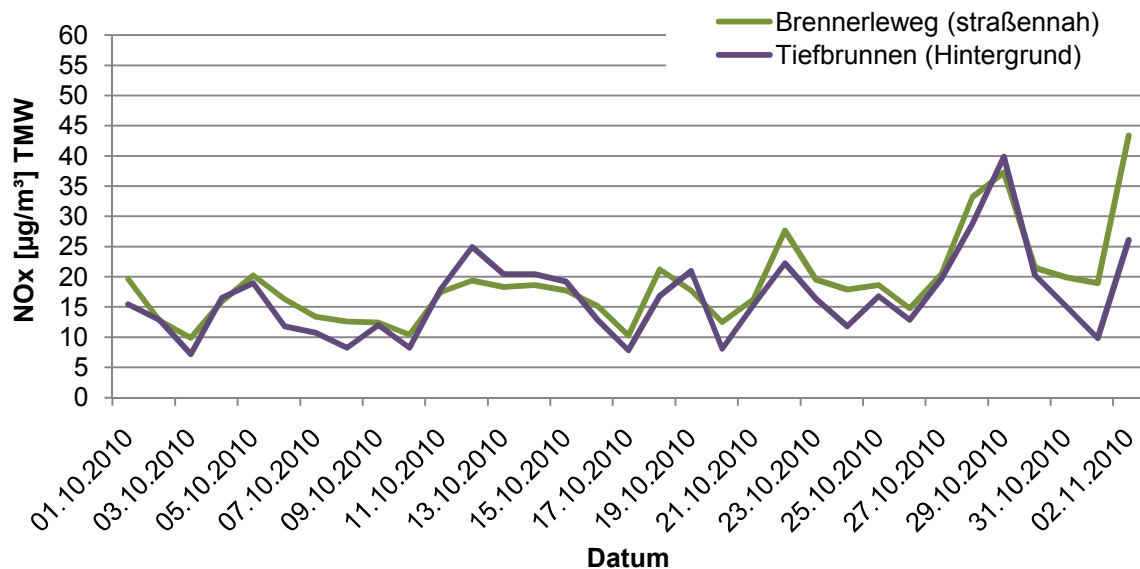


Abbildung 69: Vergleich der NO_x Verläufe auf Basis TMW

Die gemessenen Konzentrationen sind relativ niedrig (siehe Abbildung 68 und Abbildung 69).

Um zu den Emissionsfaktoren zu gelangen, wurde die gleiche Vorgehensweise wie vormals beim Druckerweg angewendet. Für die Emissionsfaktoren aus dem HBEFA wurden allerdings die Werte der Tabelle 50 hergenommen, da es für das Jahr 2010 modifizierte Werte gibt.

Tabelle 50: Emissionsfaktoren

Ø Geschwindigkeit [km/h]	EF Nemo NO _x PKW [g/(km*Fzg)]	EF PM ₁₀ PKW [g/(km*Fzg)]	EF Nemo NO _x SNF [g/(km*Fzg)]	EF PM ₁₀ SNF [g/(km*Fzg)]
10	0,752	0,090	14,740	0,799
20	0,588	0,090	8,817	0,605
30	0,489	0,056	6,303	0,317
40	0,419	0,031	5,025	0,237
50	0,366	0,021	4,245	0,199

60	0,348	0,021	4,245	0,199
70	0,366	0,021	4,245	0,199

Die Abbildung 70 zeigt die gefahrenen PKW und LNF für den betrachteten Zeitraum.

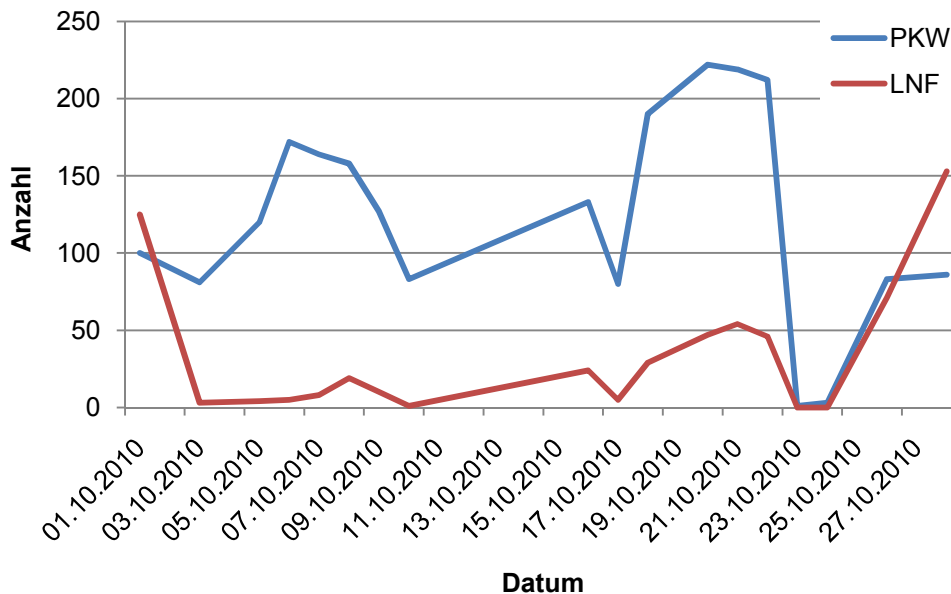


Abbildung 70: Verkehr am Brennerleweg auf Basis TMW

Um eine Emissionsfaktorenberechnung möglich zu machen, muss man zuerst die Emissionsmengen an der Teststrecke ermitteln und anschließend die exhaust Emissionsmengen von den Gesamtemissionsmengen abziehen. Um einen non Exhaustfaktor zu erhalten, muss man noch durch die Anzahl der Fahrzeuge dividieren. Die Ergebnisse für den Brennerleweg sind in Tabelle 51 dargestellt. Am Brennerleweg konnten nur Emissionsfaktoren auf TMW Basis ermittelt werden, da die PM₁₀ Messung nur gravimetrisch durchgeführt wurde.

Tabelle 51: exhaust und non exhaust Emissionsmengen

PKW + LNF				
Datum [TT.MM.JJJJ]	exhaust & non exhaust [g/km]	exhaust [g/km]	non exhaust [g/km]	non exhaust [g/km*Fzg]
01.10.2010	1747,878	20,644	1727,234	7,677
03.10.2010	103,637	2,187	101,449	1,208

05.10.2010	320,493	2,945	317,548	2,561
06.10.2010	83,653	4,111	79,542	0,449
07.10.2010	170,078	4,816	165,262	0,961
08.10.2010	436,691	6,911	429,780	2,428
09.10.2010	3382,382	4,495	3377,888	24,656
10.10.2010	257,141	1,824	255,317	3,039
16.10.2010	2305,082	7,428	2297,654	14,635
17.10.2010	120,733	2,570	118,163	1,390
18.10.2010	224,052	9,548	214,504	0,979
20.10.2010	826,103	13,795	812,308	3,020
21.10.2010	3183,553	11,924	3171,629	11,618
22.10.2010	935,648	12,980	922,668	3,576
23.10.2010	2,393	0,018	2,376	2,376
24.10.2010	3,149	0,059	3,091	1,030
26.10.2010	1888,627	15,904	1872,724	12,161
28.10.2010	536,913	24,387	512,526	2,144

Für den Brennerleweg konnte nur ein flottengemittelter Emissionsfaktor ermittelt werden, da zu wenig Datensätze mit reinem PKW Verkehr oder LNF Verkehr vorhanden war. Der Flottenemissionsfaktor ist in Tabelle 52 dargestellt.

Tabelle 52: Emissionsfaktor für den Brennerleweg

Fahrzeug- kategorie	PM ₁₀ [g/km*Fzg]
Flotte	5,328

5.2 Verkehrsbedingte Immissionsbeiträge (Sommer - Winter)

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Völkermarkterstraße und die Koschatstraße in Klagenfurt und die Amlacherkreuzung und die Station Tiefbrunnen in Lienz näher beleuchtet. Hier kommt es zu einer Unterscheidung der Sommer- bzw. der Wintermessung. Da die Immissionsbeiträge in den jeweiligen Jahreszeiten sehr unterschiedlich sind. Da im Winter ein erhöhtes Feinstaubaufkommen durch den Winterdienst bzw. durch den Hausbrand verursacht wird. Deshalb hat man im Winterhalbjahr deutlich höhere PM_{10} Belastungen zu verzeichnen.

5.2.2 Klagenfurt - Völkermarkterstraße

Die nachfolgenden Abbildungen stellen die PM_{10} Verläufe und die NO_x Verläufe der Völkermarkterstraße und der Koschatstraße dar. Die Völkermarkterstraße ist eine sehr stark befahrene Straße und bildet das Klagenfurter Verkehrsaufkommen sehr gut ab. Die Messstation an der Koschatstraße dient als Hintergrundmessstation und die Messstation an der Völkermarkterstraße dient als straßennahe Messstation. Generell muss allerdings gesagt werden, dass die PM_{10} und NO_x Konzentrationen nicht ausschließlich dem Verkehr zugeordnet werden können. Da sich diese Messstationen im städtischen Bereich befinden, sind in den PM_{10} bzw. NO_x Konzentrationen auch andere Emittenten enthalten, siehe dazu die Abbildungen 53 und 54. Allerdings kann die Annahme getroffen werden, dass die Quellenzuordnung an den beiden Messstationen sehr ähnlich ist. Daher kürzen sich die Anteile, die durch Hausbrand, Gewerbe und Landwirtschaft verursacht werden, heraus.

Die Abbildungen zeigen sehr gut, dass in den Wintermonaten eine deutlich höhere PM_{10} -Belastung herrscht als in den Sommermonaten. Die Messergebnisse harmonisieren sehr gut, das heißt, dass die Hintergrundstation weniger Konzentrationen als die straßennahe Station misst.

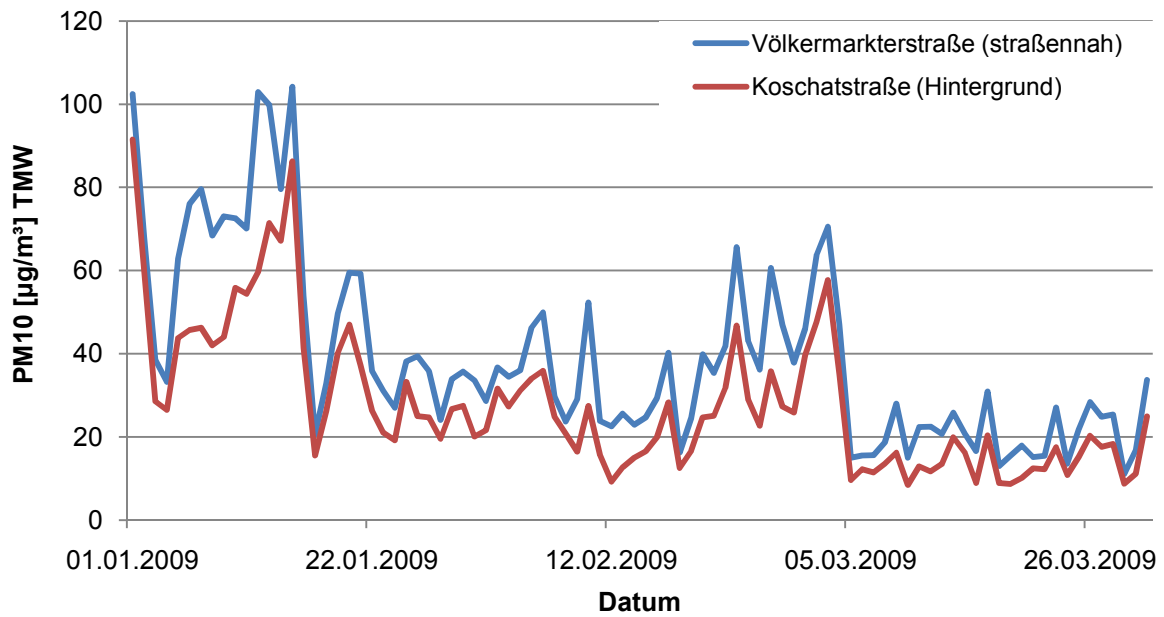


Abbildung 71: PM₁₀ Verlauf für die Monate Jänner bis März 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW

In Abbildung 72 ist der PM₁₀ Verlauf für das Sommerhalbjahr dargestellt. Man kann sehr gut erkennen, dass die PM₁₀ Konzentration in den Wintermonaten höher ist als in den Sommermonaten. Der Grund dafür ist, dass die PM₁₀ Belastung im Winter durch Winterdienst und Hausbrand erhöht ist.

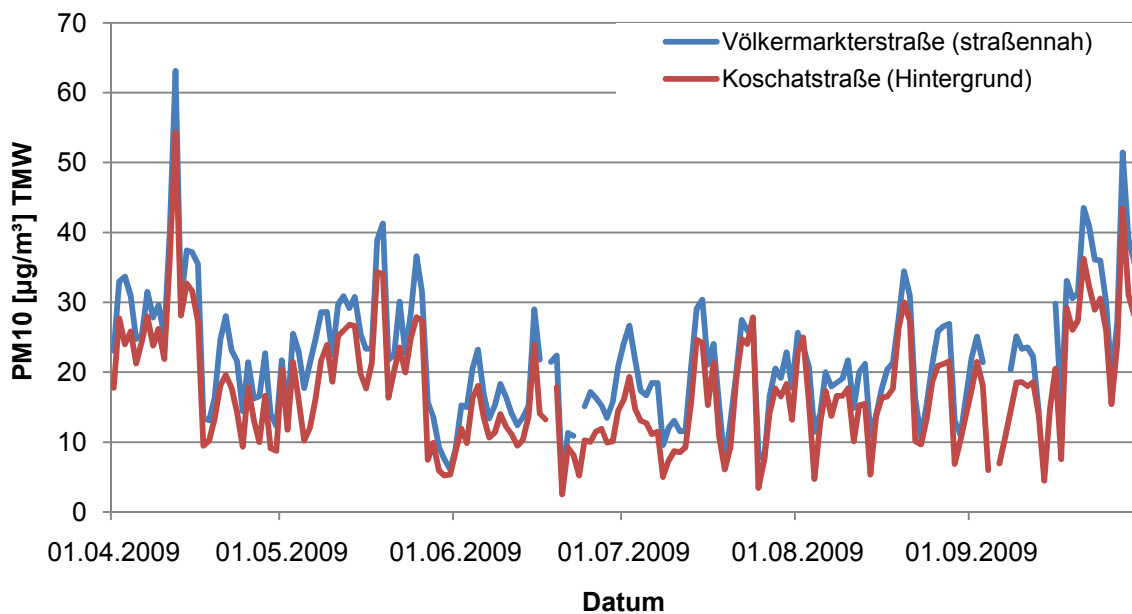


Abbildung 72: PM₁₀ Verlauf für die Monate April bis September 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW

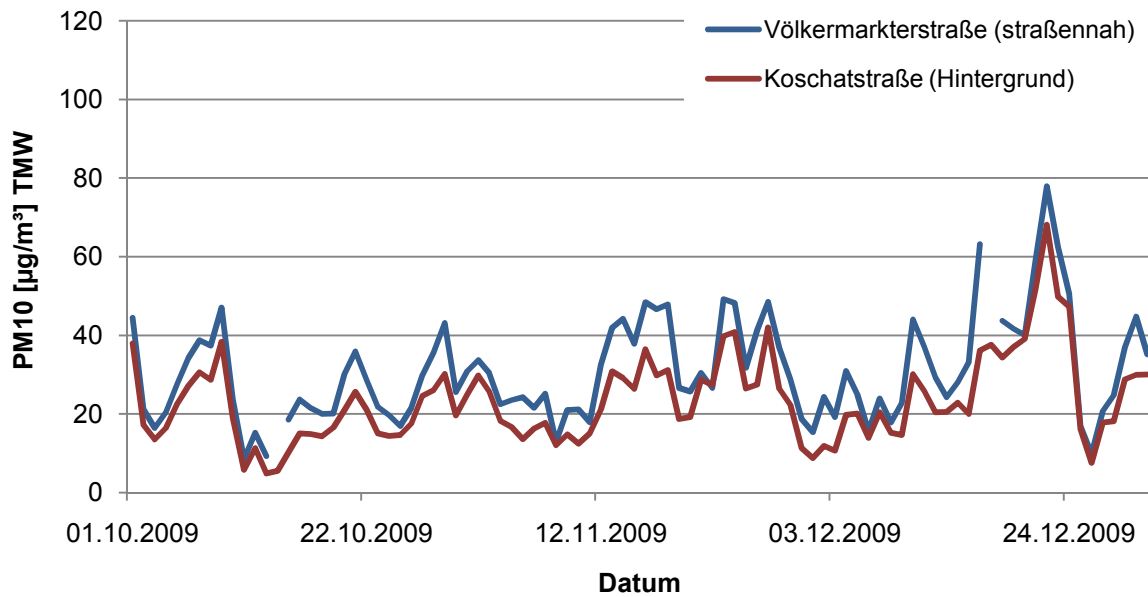


Abbildung 73: PM₁₀ Verlauf für die M0nate Oktober bis Dezember 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW

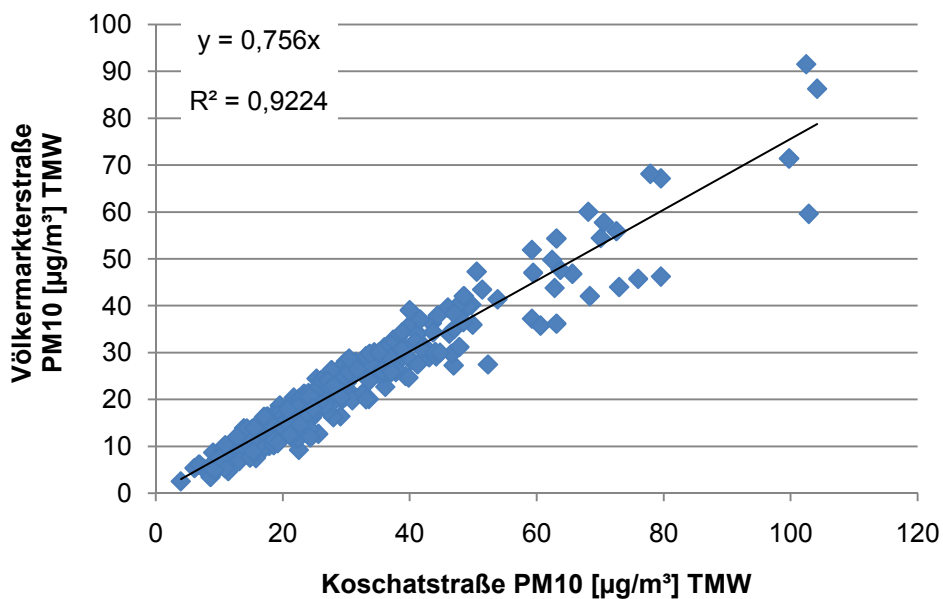


Abbildung 74: Korrelation für die Völkermarkterstraße für die PM₁₀ Werte auf Basis TMW

Auch bei den NO_x Konzentrationen kann ein deutlicher Unterschied zwischen Sommer und Wintermessung festgestellt werden.

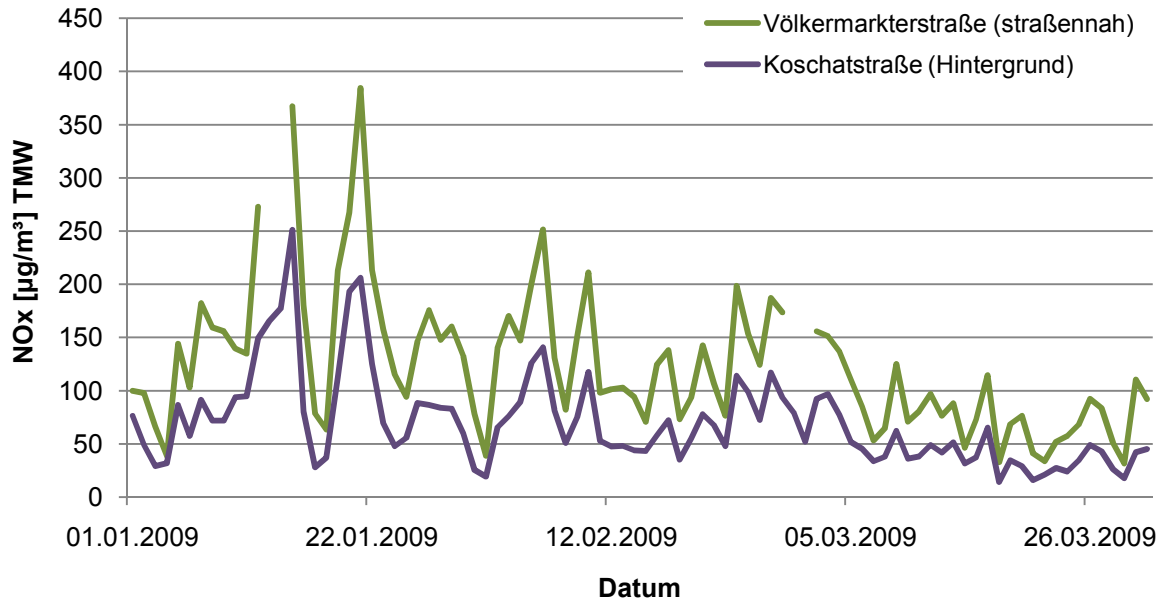


Abbildung 75: NO_x Verlauf für die Monate Jänner bis März 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW

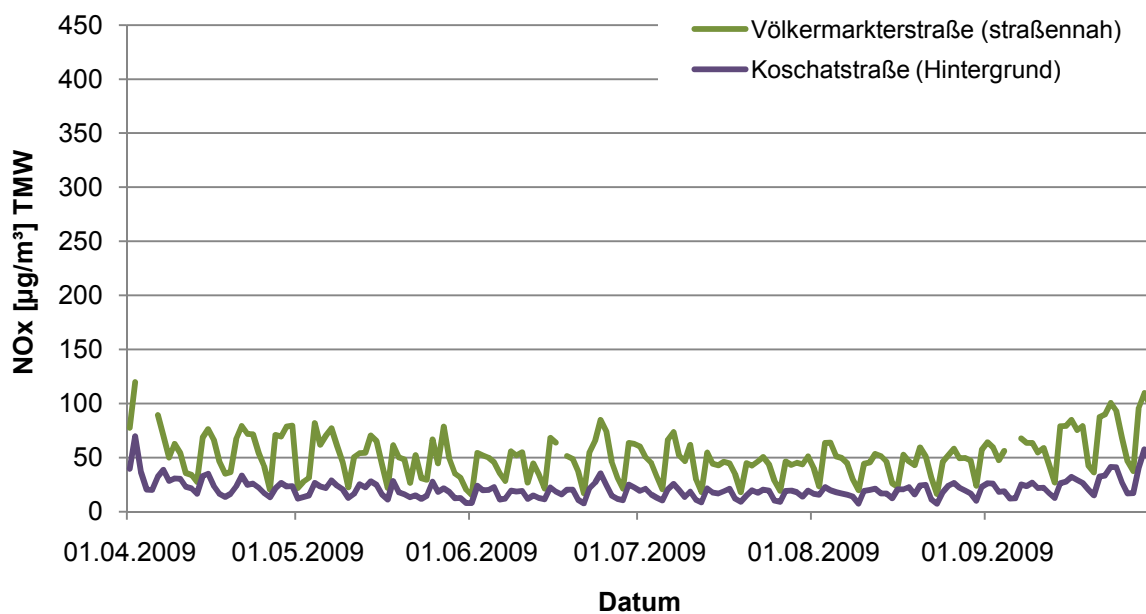


Abbildung 76: NO_x Verlauf für die Monate April bis September 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW

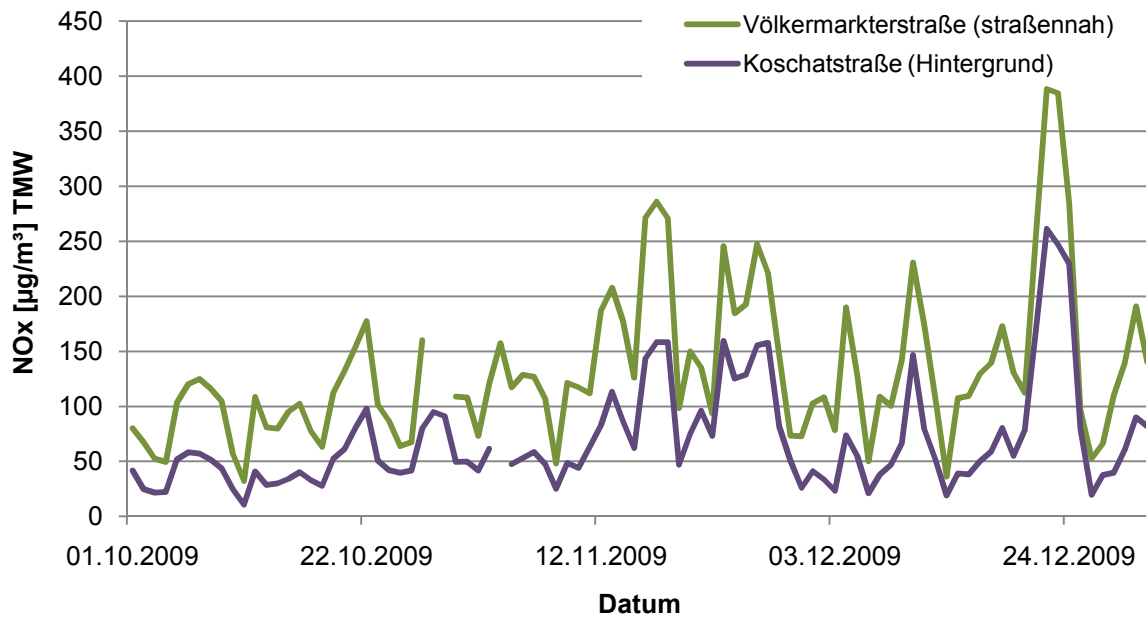


Abbildung 77: NO_x Verlauf für die Monate Oktober bis Dezember 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW

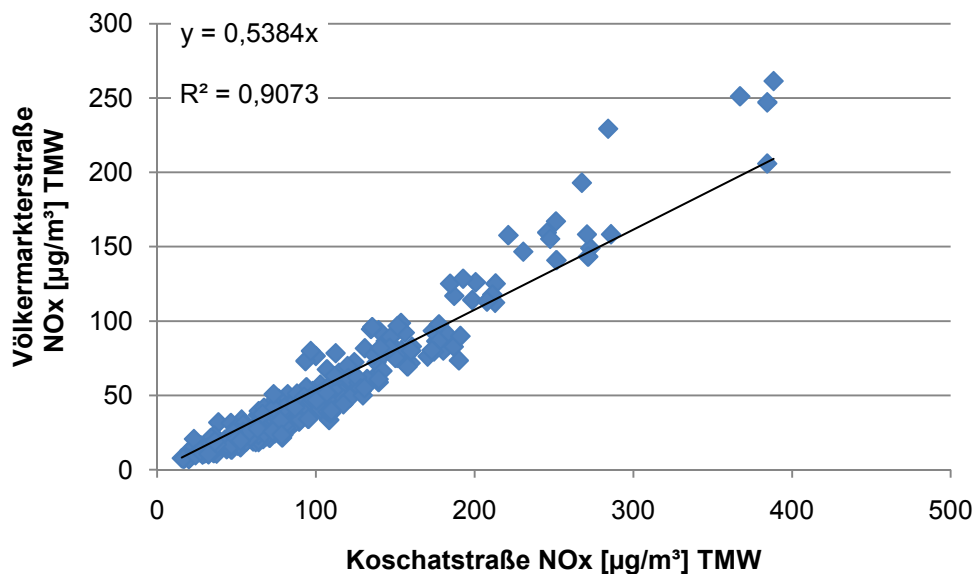


Abbildung 78: Korrelation der Völkermarkterstraße für die NO_x Werte auf Basis TMW

Die sich ergebenden Emissionsmengen, die an der Völkermarkterstraße bzw. an der Koschatstraße gemessen wurden sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt. Bei diesen Werten handelt es sich um TMWs. Da auch die Verkehrszählung pro Tag durchgeführt wurde, ist keine Betrachtung auf HMW Basis möglich.

In Tabelle 53 sind die Ergebnisse der ersten 10 Tage im Jänner als exemplarisches Beispiel dargestellt. Diese Werte sollen das Winterhalbjahr widerspiegeln.

Tabelle 53: Emissionsmengen und Emissionsfaktoren für die ersten 10 Tage im Jänner

PKW + LKW				
Datum [TT.MM.JJJJ]	exhaust & non exhaust [g/km]	exhaust [g/km]	non exhaust [g/km]	non exhaust [g/km*Fzg]
01.01.2009	6230,711	482,654	5748,057	0,252
02.01.2009	2202,176	482,654	1719,522	0,075
03.01.2009	3540,432	482,654	3057,777	0,134
04.01.2009	13567,569	482,654	13084,914	0,574
05.01.2009	4426,791	482,654	3944,137	0,173
06.01.2009	8870,159	482,654	8387,504	0,368
07.01.2009	4886,282	482,654	4403,627	0,193
08.01.2009	3994,883	482,654	3512,228	0,154
09.01.2009	4603,321	482,654	4120,666	0,181
10.01.2009	4862,843	482,654	4380,189	0,192

Die Tabelle 54 zeigt die Werte für die ersten 10 Tage des Sommerhalbjahres. Man kann sehr gut erkennen, dass die Emissionsmengen viel kleiner sind als im Winterhalbjahr, gleiches gilt für die Emissionsfaktoren. Deshalb wurde auch eine Unterscheidung zwischen Sommer- und Wintermessung durchgeführt, um aufzeigen zu können, dass die Emissionsfaktoren im Winter höher sind als im Sommer.

Tabelle 54: Emissionsmengen und Emissionsfaktoren für die ersten 10 Tage im Sommerhalbjahr

PKW + LKW				
Datum [TT.MM.JJJJ]	exhaust & non exhaust [g/km]	exhaust [g/km]	non exhaust [g/km]	non exhaust [g/km*Fzg]
01.04.2009	1866,623	482,654	1383,969	0,060
02.04.2009	1393,116	482,654	910,461	0,040
07.04.2009	1504,381	482,654	1021,726	0,044
08.04.2009	2497,289	482,654	2014,634	0,088
09.04.2009	1412,600	482,654	929,945	0,040
10.04.2009	1904,455	482,654	1421,800	0,062

11.04.2009	4312,432	482,654	3829,777	0,168
12.04.2009	9474,457	482,654	8991,802	0,395
13.04.2009	2263,956	482,654	1781,301	0,078
14.04.2009	1759,362	482,654	1276,707	0,056

In der nachfolgenden Tabelle 55 sind die Emissionsmengen und Emissionsfaktoren der ersten 10 Tage im Dezember aufgelistet. Durch diese Tabellen soll man ein Gefühl bekommen, in welchem Größenbereich die Emissionsmengen liegen und wie groß der Unterschied zwischen Sommer und Winter ist.

Tabelle 55: Emissionsmengen und Emissionsfaktoren für die ersten 10 Tage im Dezember

PKW + LKW				
Datum [TT.MM.JJJJ]	exhaust & non exhaust [g/km]	exhaust [g/km]	non exhaust [g/km]	non exhaust [g/km*Fzg]
01.12.2009	87196,520	482,654	86713,865	3,809
02.12.2009	165663,131	482,654	165180,476	7,257
03.12.2009	113759,048	482,654	113276,393	4,976
04.12.2009	148752,222	482,654	148269,567	6,514
05.12.2009	64291,944	482,654	63809,290	2,803
06.12.2009	20692,298	482,654	20209,643	0,887
07.12.2009	47422,617	482,654	46939,963	2,062
08.12.2009	35230,132	482,654	34747,477	1,526
09.12.2009	108354,56	482,654	107871,905	4,739
10.12.2009	185353,424	482,654	184870,769	8,122

Aufgrund der errechneten Emissionsmengen konnten Emissionsfaktoren für die Flotte errechnet werden. Bei diesen Emissionsfaktoren muss allerdings beachtet werden, dass diese nicht nur auf den Verkehr zurückgeführt werden können, da die PM₁₀ und NO_x Einträge im städtischen Bereich gemessen wurden. Die Konzentrationen im städtischen Bereich werden durch verschiedene Quellen verursacht. In diesem Fall sind die prozentuellen Konzentrationsverteilungen an der Völkermarkterstraße und an der Koschatstraße sehr ähnlich. Deshalb wurde die

Annahme getroffen, dass sich die anderen Quellen, nämlich Hausbrand, Gewerbe, Landwirtschaft und der Hintergrund herauskürzen und die Bildung eines Emissionsfaktors möglich ist. Das Ergebnis dieser Berechnung sieht man in der Tabelle 56 dargestellt. Dieser Emissionsfaktor wurde auf Basis der TMW mit Hilfe des durchschnittlichen Verkehrsaufkommens von 22.760 Fahrzeugen pro Tag mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 40 km/h und einem Schwerverkehrsanteil von 3% ermittelt. Außerdem kam es zu einer Unterscheidung in Winter- und Sommerhalbjahr.

Tabelle 56: Flottenemissionsfaktor für die Völkermarkterstraße

Fahrzeug-kategorie	PM ₁₀ [g/km*Fzg]
Flotte Winter	0,154*
Flotte Sommer	0,071*

*Emissionsfaktor nicht rein dem Verkehr zuordenbar

5.2.3 Lienz - Amlacherkreuzung

Als Beispiel für eine befestigte Straße wird die Messreihe an der Amlacherkreuzung und am Tiefbrunnen näher betrachtet. Diese Messstationen wurden beide vom Amt der Tiroler Landesregierung betrieben. Die Station Amlacherkreuzung diente als straßennahe Messstation. Diese bildet den städtischen Verkehr sehr gut ab. Als Hintergrundstation diente, wie auch schon beim Brennerleweg, die Station Tiefbrunnen. Die Verläufe der PM₁₀ und NO_x Konzentrationen sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Abbildung 79 zeigt die PM₁₀ Verläufe für den Zeitraum 1. Oktober 2009 bis 31. März 2010. Die Abbildung 80 zeigt den Zeitraum 1. April bis 10. August 2010. Bei diesen Verläufen kann man sehr gut sehen, dass die PM₁₀ Belastung im Winterhalbjahr, Oktober bis März, höher ist als im Sommerhalbjahr. Außerdem kann man erkennen, dass sich die Station Tiefbrunnen gut als Hintergrundstation eignet, da sich die Spitzenwerte der Amlacherkreuzung auch am Tiefbrunnen widerspiegeln.

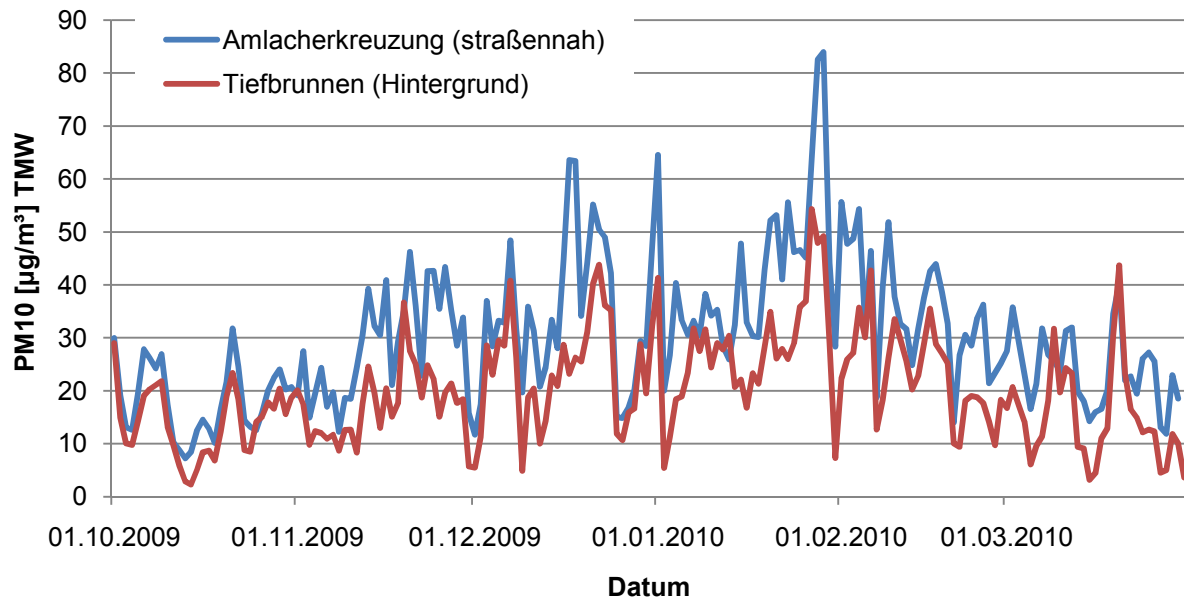


Abbildung 79: Vergleich der PM_{10} Verläufe auf Basis TMW für den Zeitraum Oktober 2009 bis März 2010

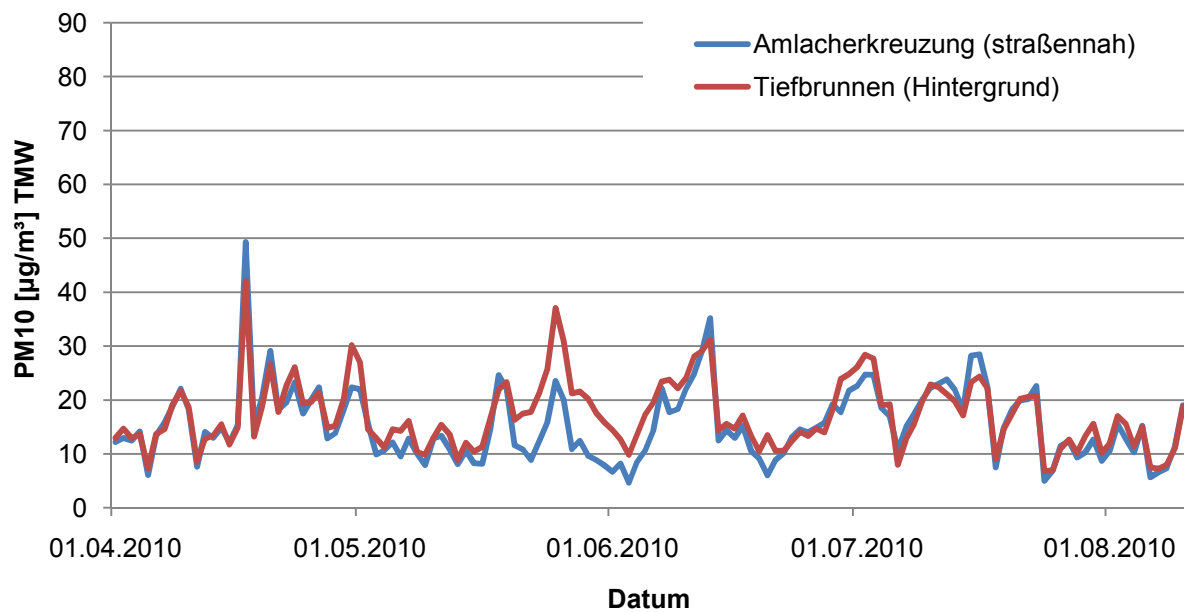


Abbildung 80: Vergleich der PM_{10} Verläufe auf Basis TMW für den Zeitraum April bis August 2010

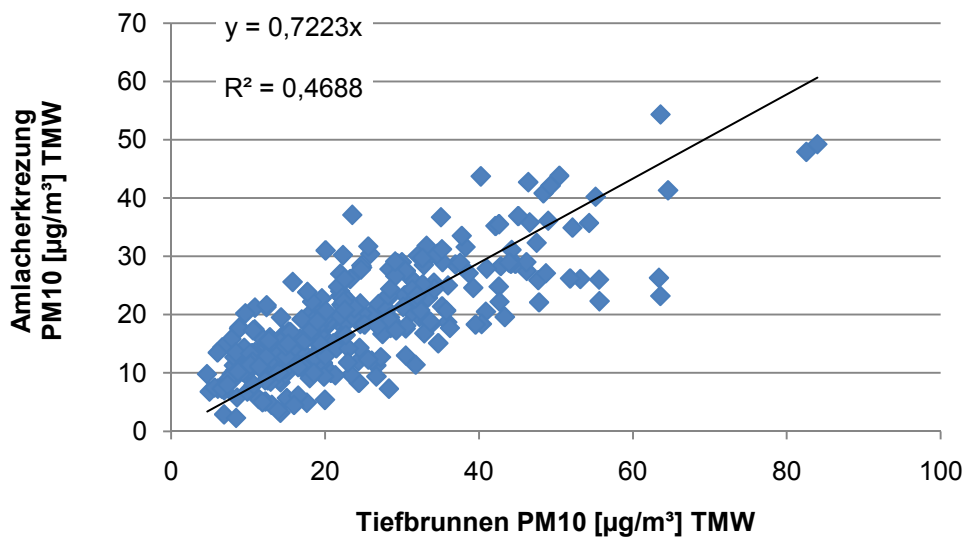


Abbildung 81: Korrelation für die Amlacherkreuzung für die PM₁₀ Werte auf Basis TMW

Auch für die NO_x Verläufe gilt wieder das gleich Prinzip, Amlacherkreuzung ist die straßennahe Station und die Hintergrundstation ist der Tiefbrunnen. Auch die NO_x-Verläufe sind wieder in zwei Zeitbereiche aufgeteilt. In Abbildung 82 ist der NO_x-Verlauf von 1. Oktober 2009 bis 31. März 2010, also für das Winterhalbjahr, dargestellt. Den Zeitraum 1. April bis 10. August 2010 kann man in Abbildung 83 sehen. Die Verläufe von Hintergrundstation und straßennaher Station passen sehr gut zusammen. Die Messwerte der Amlacherkreuzung schwanken zwar sehr stark, aber die Spitzenwerte können ebenfalls im NO_x-Verlauf des Tiefbrunnens erkannt werden. Die NO_x-Werte sind in den Wintermonaten höher als in den Sommermonaten.

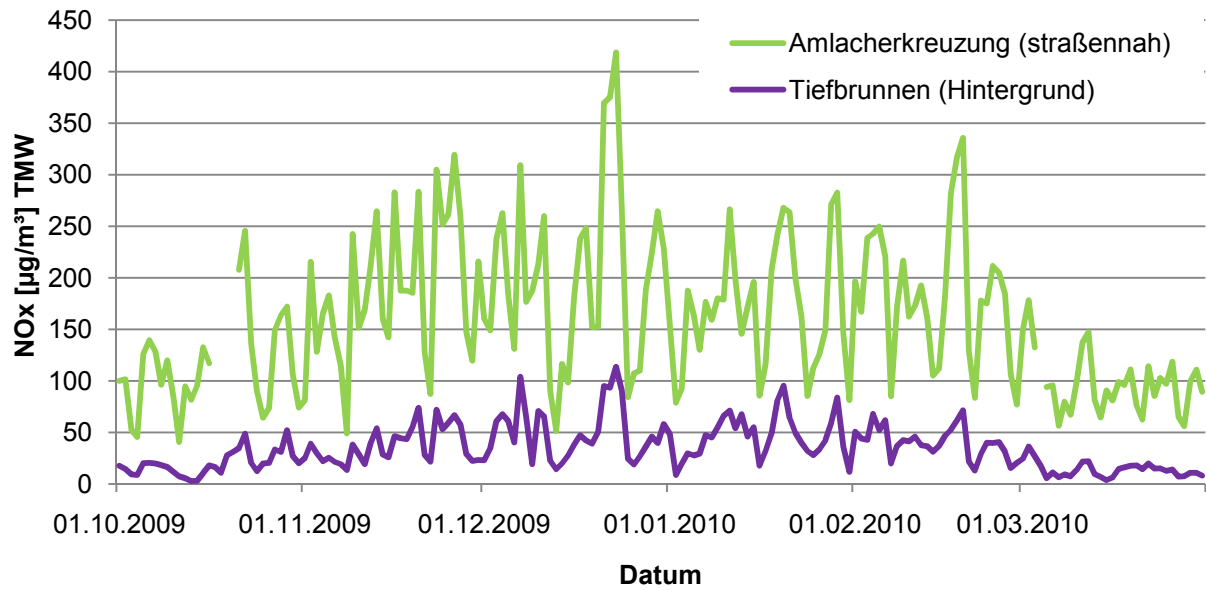


Abbildung 82: Vergleich der NO_x Verläufe auf Basis TMW für den Zeitraum Oktober 2009 bis März 2010

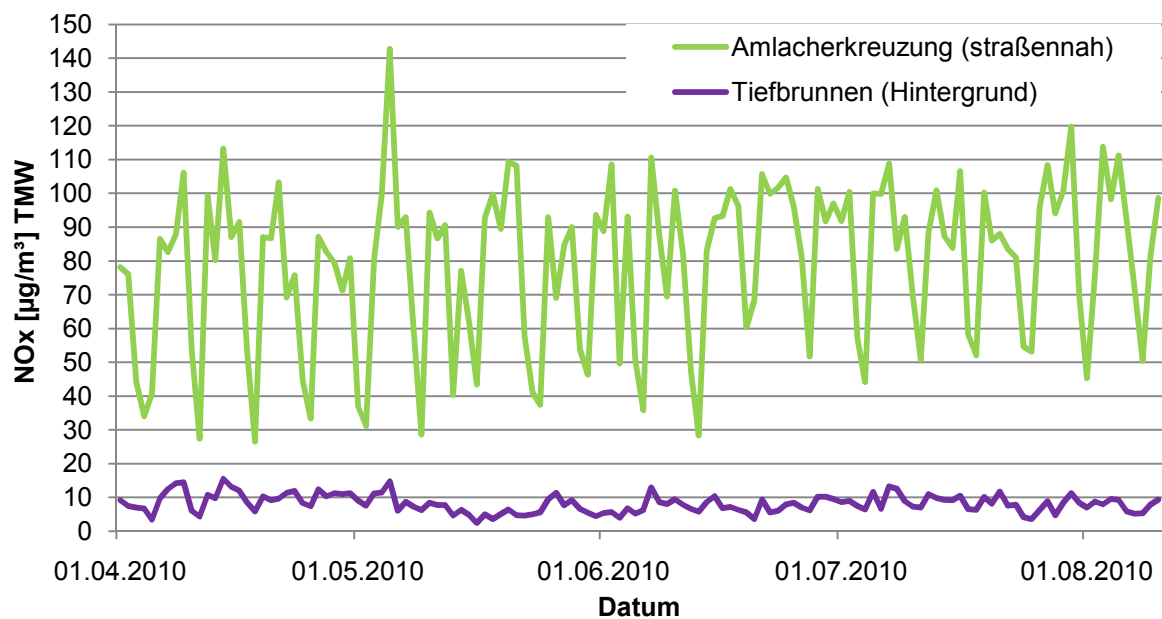


Abbildung 83: Vergleich der NO_x Verläufe auf Basis TMW für den Zeitraum April bis August 2010

Die Abbildung 84 zeigt eine Korrelation für die Amlacherkreuzung für die NO_x Werte auf TMW Basis.

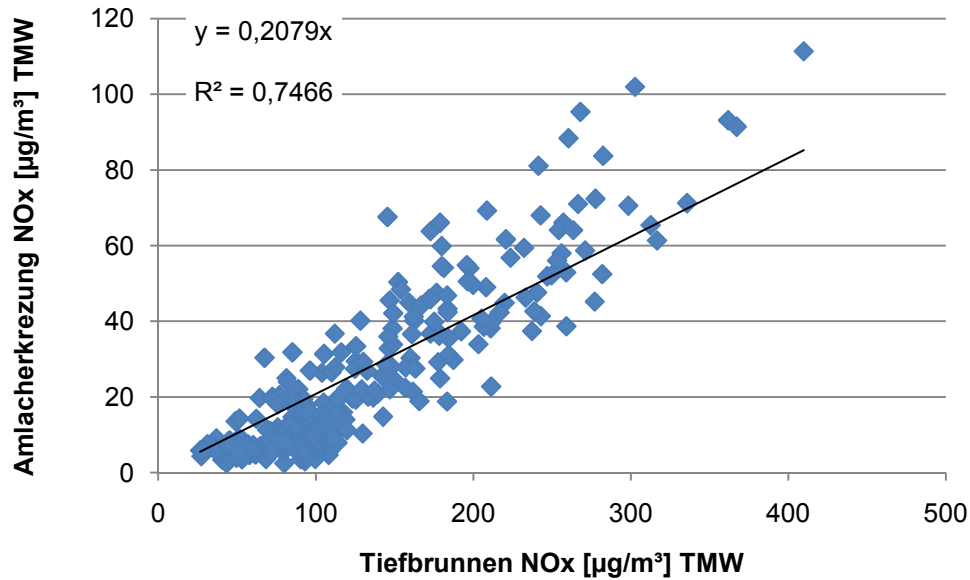


Abbildung 84: Korrelation für die Amlacherkreuzung für die NO_x Werte auf Basis TMW

Bei diesem Feldversuch konnten keine Emissionsfaktoren ermittelt werden, da es keine Verkehrszählung gibt.

6. Zusammenfassung und Vergleich der ermittelten non exhaust Emissionsfaktoren

In diesem Kapitel werden die Emissionsfaktoren dieser Arbeit mit jenen aus der Literaturrecherche (siehe Kapitel 2) verglichen. Es wurden Emissionsfaktoren für den Druckerweg und den Brennerleweg, beides unbefestigte Straßen, ermittelt. Ebenso wurde für die Völkermarkterstraße ein flottengemittelter Emissionsfaktor ermittelt.

6.1 Vergleich der non exhaust Emissionsfaktoren aus den Feldversuchen und der Literatur

Die Vergleichsmöglichkeiten der unbefestigten Straßen sind relativ eingeschränkt. Da es nur ein Modell zur Berechnung von Emissionsfaktoren für unbefestigte Straßen gibt, nämlich jenes der US EPA (20).

- **PKW**

Bei den PKW Emissionsfaktoren könnte man am ehesten den Emissionsfaktor vom Druckerweg mit dem minimalen Emissionsfaktor des US EPA Modells für die öffentliche Straße vergleichen.

- **SNF**

Bei den SNF Emissionsfaktoren könnte man den Emissionsfaktor vom Druckerweg am ehesten mit jenem maximalen Emissionsfaktor des US EPA Modells für die Industriestraße vergleichen. Eine weitere Möglichkeit wäre ein Vergleich des Druckerwegs mit dem maximalen Faktor der öffentlichen Straße, allerdings ist hier die Abweichung schon deutlich höher.

- **Flotte**

Die Flottenemissionsfaktoren des Druckerwegs und des Brennerlewegs sind in jedem Fall miteinander vergleichbar. Weiters könnte man sagen, dass die beiden Emissionsfaktoren mit dem gemittelten Emissionsfaktor der öffentlichen Straße, mit einem Wert von 7,727 g/km*Fzg, vergleichbar sind.

Die Ergebnisse der berechneten Emissionsfaktoren und die Emissionsfaktoren aus der Literaturrecherche für die unbefestigte Straße sind in der Tabelle 57 ersichtlich.

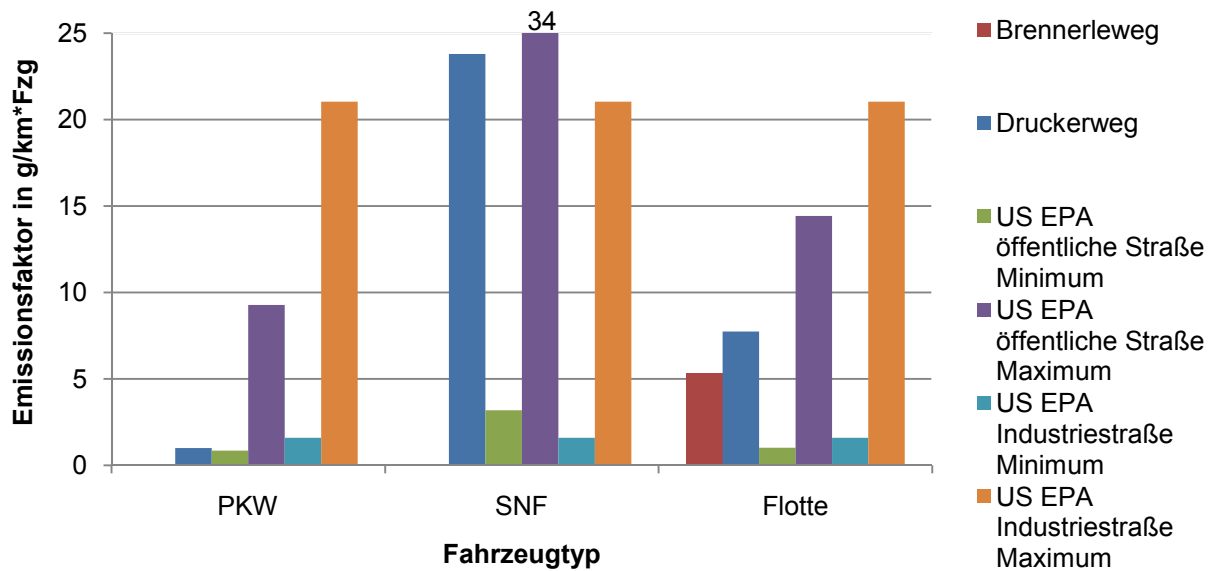


Abbildung 85: Vergleich der Emissionsfaktoren für die unbefestigte Straße

Tabelle 57: Übersicht der Emissionsfaktoren für die unbefestigte Straße für PM₁₀ in [g/km*Fzg]

	Druckerweg (Tabelle 49)	Brennerleweg (Tabelle 52)	US EPA (Tabelle 9)			
			Öffentliche Straße		Industriestraße	
			Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
PKW	1,003	-	0,862	9,273	1,601	21,025
SNF	23,793	-	3,187	34,268	1,601	21,025
Flotte	7,751	5,328	1,024	14,43	1,601	21,025

Abbildung 86 zeigt den Vergleich der Flottenemissionsfaktoren für die Größenfraktion PM_{10} für die befestigten Straßen. Die Flotte setzt sich aus einem 97%igen PKW Anteil und einem 3%igen SNF Anteil zusammen. Die Prozentzahlen wurden deshalb so gewählt, um einen Vergleich mit der Völkermarkterstraße möglich zu machen.

Die Emissionsfaktoren des US EPA Modells und die des modifizierten EPA Modells sind in diesem Vergleich entfallen, da sie viel höher sind und somit für die übrigen Modelle nicht vergleichbar sind.

- **Innerortsstraße**

Bei den Innerortsstraßen liegt der Emissionsfaktor des Feldversuches des IVT und der Emissionsfaktor der Völkermarkterstraße vom Winterhalbjahr mit Abstand am höchsten. Beim Feldversuch könnte der Grund sein, dass die untersuchte Strecke eine schlechte Fahrbahnoberfläche aufweist. Bei der Messung an der Völkermarkterstraße für das Winterhalbjahr ist sicher der Winterdienst ausschlaggebend und darum liegt der Wert höher als für das Sommerhalbjahr. Die übrigen Emissionsfaktoren liegen relativ eng beieinander und sind sehr gut miteinander vergleichbar. Der Emissionsfaktor von der Völkermarkterstraße für das Sommerhalbjahr ist deshalb etwas erhöht, da die Bildung eines Emissionsfaktors, der nur dem Verkehr zugeordnet werden kann, nicht möglich war.

- **Außerortsstraße**

Das CORINAIR Modell gibt bei den Außerortsstraßen keinen Emissionsfaktor an. Die Bandbreite ist wieder sehr ähnlich wie bei den Innerortsstraßen. Lohmeyer verwendet für die Außerortsstraße und für die Autobahn den gleichen Emissionsfaktor. Deshalb liegt dieser auch bei den Außerortsstraßen am niedrigsten.

- **Autobahn**

Bei den Emissionsfaktoren der Autobahn liegen die Emissionsfaktoren des CORINAIR Modells, des TNO Modells und des Modells nach Lohmeyer im Bereich von $0,023 \text{ g/km} \cdot \text{Fzg}$ bis $0,027 \text{ g/km} \cdot \text{Fzg}$ sehr eng beieinander. Auch hier liegt wiederum der Feldversuch des IVT am höchsten.

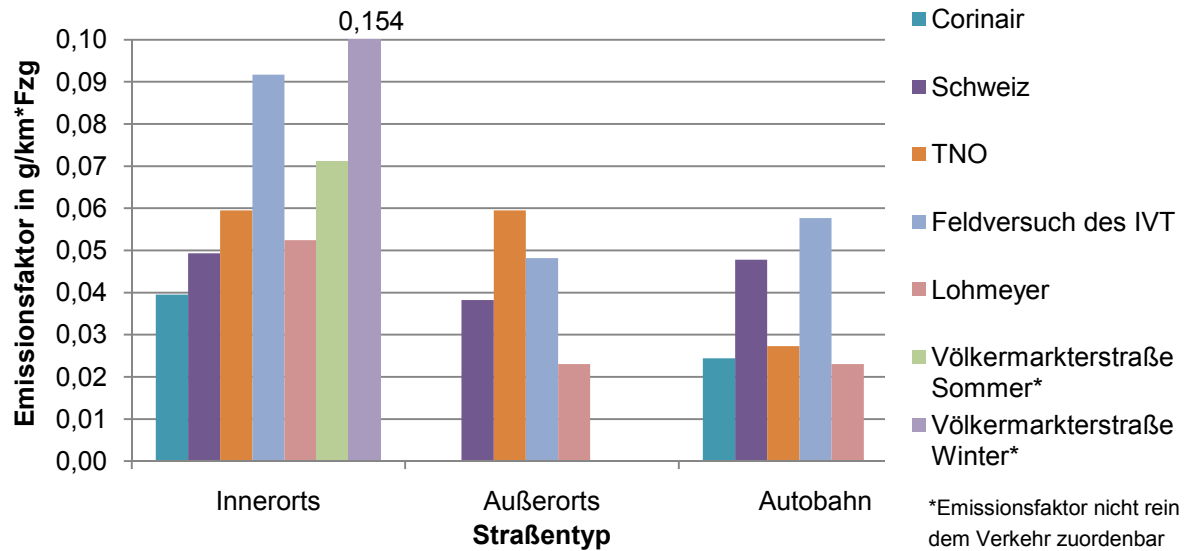


Abbildung 86: Vergleich der Emissionsfaktoren der befestigten Straße

Tabelle 58: Emissionsfaktoren für die Flotte, für PM₁₀ in [g/km*Fzg]

	Innerorts	Außerorts	Autobahn
Schweiz	0,049	0,038	0,048
CORINAIR	0,040	-	0,024
TNO	0,060	0,060	0,027
Feldversuch des IVT	0,092	0,048	0,058
Lohmeyer	0,052	0,023	0,023
Völkermarkterstraße Sommer*	0,071		
Völkermarkterstraße Winter*	0,154		

*Emissionsfaktor nicht rein dem Verkehr zuordenbar

7. Zusammenfassung

Zu Beginn dieser Diplomarbeit wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Diese Literaturrecherche befasste sich mit vorhandenen Modellen zur Berechnung von Emissionsfaktoren.

Es gibt Modelle zur Berechnung von exhaust und non exhaust Emissionsfaktoren. Der Unterschied liegt bei den Verursachersektoren. Die exhaust Emissionen werden durch Verbrennungsprozesse verursacht. Die non exhaust Emissionen kommen durch Abriebe von Reifen, Bremsen, Kupplung oder Fahrbahnoberflächen und Aufwirbelungen von Straßenstaub zustande.

Die Modelle für die exhaust Emissionsfaktoren sind:

- NEMO
- PHEM
- GLOBEMI

Die Modelle für die non exhaust Emissionsfaktoren sind:

- US EPA
- modifiziertes EPA Modell nach Lohmeyer
- schwedisches Modell – SMHI
- norwegisches Modell – VLUFT
- Schweizer Modell nach Gehrig - Schweiz
- RAINS
- TNO
- CORINAIR

Um eine Berechnung solcher PM_{10} Emissionsfaktoren durchzuführen, ist es notwendig, eine straßennahe und eine Hintergrundmessstation zu betreiben. Bei dieser Messung werden die PM_{10} - und NO_x -Einträge direkt an der Straße und an einer Messstation in einiger Entfernung (Hintergrundstation) gemessen. Anschließend werden die Differenzbeträge ΔPM_{10} und ΔNO_x aus den Werten der straßennahen Messstation und der Hintergrundmessstation gebildet. Zusätzlich

müssen noch die gefahrenen Fahrzeuge, auf dem jeweilig untersuchten Streckenabschnitt, dokumentiert und miteinbezogen werden. Das Ergebnis dieses Rechenvorgangs sind dann die Emissionsfaktoren. Die Ergebnisse aus den Betrachtungen in dieser Diplomarbeit sind in der Tabelle 59 und Tabelle 60 dargestellt. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Emissionsfaktoren, die am Druckerweg und am Brennerleweg erfasst wurden, nur schwer mit den Emissionsfaktoren in der Literatur verglichen werden können. Für die unbefestigten Straßen ist es somit nicht möglich eine generelle Aussage machen zu können. Für die befestigten Straßen sieht die Situation besser aus, denn die Emissionsfaktoren der Schweiz, des CORINAIR Modells, des TNO Modells, von Lohmeyer und die der Völkermarkterstraße vom Sommerhalbjahr können sehr gut miteinander verglichen werden. Ein genereller Modellvorschlag kann nicht abgeleitet werden, dazu gibt es zu große Streuungen.

Tabelle 59: Übersicht der Emissionsfaktoren für die unbefestigte Straße für PM₁₀ in [g/km*Fzg]

	Druckerweg	Brennerleweg	US EPA			
			Öffentliche Straße		Industriestraße	
			Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
PKW	1,003	-	0,862	9,273	1,601	21,025
SNF	23,793	-	3,187	34,268	1,601	21,025
Flotte	7,751	5,328	1,024	14,43	1,601	21,025

Tabelle 60: Emissionsfaktoren für die Flotte, für PM₁₀ in [g/km*Fzg]

	Innerorts	Außerorts	Autobahn
Schweiz (Tabelle 19)	0,049	0,038	0,048
CORINAIR (Tabelle 24)	0,040	-	0,024
TNO (Tabelle 23)	0,060	0,060	0,027
Feldversuch des IVT (Tabelle 26 bis Tabelle 28)	0,092	0,048	0,058
Lohmeyer (Tabelle 25)	0,052	0,023	0,023
Völkermarkterstraße Winter (Tabelle 56)*	0,071		
Völkermarkterstraße Sommer (Tabelle 56)*	0,154		

*Emissionsfaktor nicht rein dem Verkehr zuordenbar

In weiterer Folge könnte diese Arbeit dahingehend erweitert werden, dass die Emissionsfaktoren auch für die Größenklasse $PM_{2,5}$ ermittelt werden würde, da diese Größenfraktion immer mehr an Bedeutung gewinnen wird.

Außerdem könnten Vorschläge erarbeitet werden, um eine generelle Reduktion der Feinstaubbelastung zu verwirklichen. Ein Thema, das von der TU Graz bereits in Erprobung war ist das Thema CMA. Die Abkürzung CMA steht für Calcium Magnesium Aacetat. Es ist biologisch abbaubar und kann im Winterdienst statt Splitt- oder Salzstreuung eingesetzt werden. Außerdem kann CMA als sogenannter „Feinstaubkleber“ eingesetzt werden. Dieser „Feinstaubkleber“ würde dazu dienen, dass der vorhandene Straßenstaub auf der Straße kleben bleiben und nicht in die Umgebungsluft aufgewirbelt werden würde.

8. Literaturverzeichnis

1. **Lanzendorf M., et al.** *Verkehrsbedingte Feinstäube in der Stadt*. Leipzig : Umweltbundesamt, 2006. ISSN 1862-4804.
2. Umweltbundesamt. [Online] 2011. www.umweltbundesamt.at.
3. **Schneider J., et al.** *Schwebestaub in Österreich, Fachgrundlage für eine kohärente österreichische Strategie zur Verminderung der Schwebestaubbelastung*. Wien : Umweltbundesamt GmbH, 2006. Bericht BE-277, Seite 22.
4. **Lahl U., Steven W.** *Feinstaub – eine gesundheitspolitische Herausforderung, Serie Auditorium Maximum – Pneumologie (2005) 4. 59.*. 2005. S. 704 - 714.
5. **Kreyling W. G., Semmler M., Möller W.** *Ultrafeine Partikel und ihre Wirkung auf die menschliche Gesundheit*. Leipzig : Umweltbundesamt, 2005.
6. Bayrisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit. [Online] <http://www.stmug.bayern.de/umwelt/luftreinhaltung/feinstaub/index.htm>.
7. **Luft, Immissionsschutzgesetz.** (BGBl. I Nr. 115/1997), idF.: BGBl. I Nr. 77/2010.
8. **Richtlinie, EU.** *Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa*; <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:DE:PDF>.
9. **UNECE.** *United Nations Economic Commission for Europe*, <http://www.unece.org/>.
10. **Lambrecht Udo, et al.** *Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren in mobilen Geräten und Maschinen*. Heidelberg : s.n., 2004.
[http://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/IFEU\(2004\)Endbericht_%20Mobile%20Geraete%20und%20Maschinen.pdf](http://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/IFEU(2004)Endbericht_%20Mobile%20Geraete%20und%20Maschinen.pdf).
11. **TU Graz, IVT.** *Ausbringung von CM Austrosafe als Maßnahme zur Reduktion der Wiederaufwirbelung von Straßenstaub in Klagenfurt*. Graz : s.n., 2007. Bericht Nr. I-27/2007 VU06/I-619.
12. **Rexeis, M., Hausberger und S.** *Trend of vehicle emission levels until 2020 – Prognosis based on current vehicle measurements and future emission legislation*. s.l. : Atmospheric and Environment, 2008. doi:10.1016/j.atmosenv.2008.09.034.
13. **M., Rexeis und S., Hausberger.** *Calculation of Vehicle Emissions in Road Networks with the model "NEMO"; Transport&Airpollution Conference*; TU Graz : Graz, 2005. ISBN: 3-902465-16-6.
14. **Rexeis M., et al.** *PHEM and NEMO: Tools for micro- and meso-scale emission modelling; 6th International Conference on Urban Air Quality*. Cyprus : s.n., 2007.
15. **Hausberger S., et al.** *Emission Factors from the Mod PHEM for the HBEFA Version 3. from 07.12.2009*. Graz : IVT TU Graz, 2009. Report Nr. I-20/2009 Haus-Em 33/08/679.

16. **Hausberger S., Schwingshackl M.** *Update der Emissionsprognose Verkehr Österreich bis 2030; Erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds.* Graz : IVT TU Graz, 2011. Nr. Inst-03/11/ Haus Em 09/10-679.
17. **Hausberger, S.** *Globale Modellbildung für Emissions- und Verbrauchsszenarien im Verkehrssektor (Global Modelling of Scenarios Concerning Emission and Fuel Consumption in the Transport Sector).* Graz : TU Graz, 1997. Dissertation am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz.
18. **EPA.** US EPA. [Online] <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html#toc>.
19. —. US EPA. [Online] <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/index.html#loc>.
20. **EPA, US EPA.** *Unpaved Roads.* s.l. : AP 42, November 2006. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0202.pdf>.
21. **EPA.** US EPA. [Online] http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/final/c13s0201_2006.pdf.
22. **Lohmeyer A., et al.** *Berechnung der KFZ-bedingten Feinstaubemissionen infolge Aufwirbelung und Abrieb für das Emissionskataster Sachsen.* Dresden : Lohmeyer, 2004. Projekt 2546.
23. **Rauterberg Wulff, A.** *Untersuchung über die Bedeutung der Staubaufwirbelung für die PM10-Immission an einer Hauptverkehrsstraße, Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, TU Berlin, Fachgebiet Luftreinhaltung.* 2000.
24. **HBEFA.** *Handbuch für Emissionsfaktoren Version 3.1 HBEFA.* Bern : INFRAS AG, 2010. <http://www.hbefa.net/>.
25. **Omstedt G., Bringfelt B., Johansson C.** *A model for vehicle-induced non-tailpipe emissions of particles along swedish roads.* s.l. : Atmospheric Environment 39, 2005.
26. **Forsberg B., et al.** *Comparative health impact assessment of local and regional particulate air pollution in Scandinavia.* Schweden : Department of Public Health and Clinical Medicine, Umeå University, 2005.
27. **Bringfelt, B., et al.** *Calculation of PM10-concentrations in Swedish cities - Modelling of inhaleable particles.* Norrköping, Schweden : Published by Swedisch Meteorological and Hydrological Institute, 1997. (Report number RMK No. 76).
28. **Gehrig R., et al.** *Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Abschlussbericht der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) und des Paul Scherrer Institutes (PSI) zum Forschungsprojekt ASTRA 2000/415.* Schweiz : EMPA und Paul Scherrer Institut, 2003. www.empa.ch/plugin/template/empa/700/5750/---/l=1.
29. **IIASA.** *Science for global Insight.* [Online] <http://www.iiasa.ac.at/>.
30. **Lükewille A., et al.** *A Framework to Estimate the Potential and Costs for the Control of Fine Particulate Emissions in Europe.* s.l. : IIASA - International Institute for Applied Systems Analysis, 2002. Interim Report IR-01-023.

31. Corinair. [Online] <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR4>.
32. **Lohmeyer**. Ingenieurbüro Lohmeyer. [Online] <http://www.lohmeyer.de/>.
33. **Henn, Mathias**. *Emissionsfaktoren für Straßentunnel – Ermittlung und Validierung*. Graz : Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik der TU Graz, 2011. Dissertation.
34. Viamichelin. [Online] [Zitat vom: 25. März 2011.] <http://www.viamichelin.at/>.
35. Google Maps. [Online] <http://maps.google.at/maps?hl=de&tab=wl>.
36. **Sturm J., et al**. *Messbericht im Rahmen des EU-Life Projektes CMA+ für die Partnerstadt Klagenfurt*. Graz : Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik TU Graz, 2010. Bericht Nr. I-23109/GB V&U 09/I-620.
37. **Recordum Messtechnik GmbH**. Handbuch zum Airhopper. Mödling : Recordum Messtechnik GmbH. http://www.recordum.com/index.php?gr_id=105&k_id=756.
38. **Recordum, Messtechnik**. *Handbuch zum Airpointer*. Mödling : s.n. Version 1.02.
39. **Thermo Fisher Scientific**. Sharp 5030 Produktspezifikation. Erlangen : Thermo Electron. <http://www.thermo.com/air/>.
40. **MLU Austria**. TEOM Handbuch. Mödling : MLU Austria. http://www.mlu.at/index.php?gr_id=67&k_id=567&b_id=&gp=&at=249.
41. **TCR Tecora**. *Produktbeschreibung des Low Volume Sampler (LVS)*. Mailand : TCR Tecora. <http://www.tecora.it/en/main.php>.
42. **Thermo Fisher Scientific**. Model 42i Produktbeschreibung. s.l. : Thermo Electron. <http://www.thermo.com/air/>.
43. **MLU Messtechnik GmbH**. API 200 A Handbuch. Mödling : MLU Messtechnik. <http://www.mlu.eu/index.php?page=country&co=2&id=1>.
44. **IFL Institut für Lärmschutz GmbH**. METEK USA 1 Produktspezifikation. Düsseldorf : IFL Institut für Lärmschutz GmbH. http://www.ifl-acoustics.de/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=10.
45. **DataCollect Traffic Systems GmbH**. Data Collect Seitenradar Produktbeschreibung. Deutschland : DataCollect Traffic Systems GmbH. <http://www.datacollect.eu/>.
46. **Amt der Kärntner Landesregierung**. *Jahresbericht 2007 über Feinstaub- (PM10) und Stickstoffdioxidmessungen (NO2) im Raum Klagenfurt*. Klagenfurt : Abteilung 15 - Umwelt, UAbt. Ökologie und Umweltdaten, 2007. http://www.ktn.gv.at/34638p_DE-Sonderberichte-20080206_JB2007_Klagenfurt.pdf.pdf.
47. **Kurz, Ch und Sturm, Peter**. *Analyse und Modellierung der Feinstaubbelastung in Klagenfurt – Endbericht*. Graz : im Auftrag des BMLFUW, 2006.
48. Homepage der Landesregierung Tirol. [Online] <http://www.tirol.gv.at/themen/umwelt/luft/messnetz/lienz-amlacherkreuzung/>.

49. **Berkowicz, R.** OSPM - A parameterised street pollution model. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*. 2000, 65.
50. **Steininger K., Berdnik S., Gebetsroither B., Hochwald J., Hausberger S., Getzner M., Kriebner G.** *Klimaschutz, Infrastruktur und Verkehr*. Wien : AK Österreich, 2007.
51. **Lohmeyer, A. und Düring, I.** *Validierung von PM10 Immissionsberechnungen im Nahbereich von Straßen und Quantifizierung der Staubbildung von Straßen*. Dresden : s.n., 2001.
52. **Semmelrock, G.** *Luftgütemessung in der Steiermark - Jahresbericht 2009*. Graz : Amt der steiermärkischen Landesregierung, 2009.
53. **Teledyne Advanced Pollution Instrumentation (API)**. Model 100 E Produktspezifikation. California, San Diego : Teledyne API. <http://www.teledyne-api.com/products/100e.asp>.
54. **Bringfeld B., et al.** *Calculations of PM10-concentrations in Swedish Cities - Modelling of inhalable Particles*. Norrköping : Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 1997.
55. **Lohmeyer A., Düring I., Bächlin W.** *Quantifizierung der PM10-Emissionen durch Staubaufwirbelung und Abrieb von Straßen auf vorhandenen Messdaten*. Karlsruhe : Lohmeyer, 2003. Projekt 1772.
56. **S., Hausberger.** *Simulation of Real World Vehicle Exhaust Emissions; VKM-THD Mitteilungen; Heft/Volume 82*. Graz : TU Graz, 2003. ISBN 3-901351-74-4.
57. **Hausberger S., et al.** *Phem Bedienungsanleitung*. Graz : TU Graz Institut für Verbrennungskraftmaschinen, 2010.

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Unterteilung des Staubes (2)	1
Abbildung 2: Emittenten für TSP (2)	2
Abbildung 3: Emittenten für PM ₁₀ (2).....	3
Abbildung 4: Emittenten für PM _{2,5} (2).....	4
Abbildung 5: Eindringtiefe der Partikel (6).....	6
Abbildung 6: Schema des PHEM Modells (14)	12
Abbildung 7: Rechenablauf im GLOBEMI Modell (17)	13
Abbildung 8: Lageplan der Keutschacherstraße (34).....	33
Abbildung 9: Luftbild der Keutschacherstraße mit Hintergrundstation (gelb) und straßennaher Station (rot) (33)	33
Abbildung 10: Lageplan des Autobahnzubringers Mooskirchen (34)	34
Abbildung 11: Luftbild des Autobahnzubringers Mooskirchen mit Hintergrundstation (gelb) und straßennaher Station (rot) (33)	34
Abbildung 12: Lageplan der Feldkirchner Straße (35).....	35
Abbildung 13: Luftbild der Feldkirchner Straße mit Hintergrundstation (gelb) und straßennaher Messstation (blau) (33).....	35
Abbildung 14: Emissionsfaktoren für PKW PM ₁₀	37
Abbildung 15: Emissionsfaktoren für PKW PM _{2,5}	39
Abbildung 16: Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge PM ₁₀	41
Abbildung 17: Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge PM _{2,5}	42
Abbildung 18: Emissionsfaktoren für die Flotte PM ₁₀	43
Abbildung 19: Emissionsfaktoren für die Flotte PM _{2,5}	44
Abbildung 20: Prinzipskizze einer Luv Lee Messung (33).....	46
Abbildung 21: Berechnung des ΔPM_{10} und ΔNO_x	47
Abbildung 22: Airhopper (37).....	49
Abbildung 23: Innenansicht links (38).....	50
Abbildung 24: Innenansicht rechts (38)	50
Abbildung 25: Schema des NO _x Sensors (38)	51
Abbildung 26: Ansicht des NO _x Moduls (38)	51
Abbildung 27: NO ₂ Umwandlungsprinzip (38).....	51

Abbildung 28: Symbolbild eines Sharp 5030 (39)	52
Abbildung 29: Prinzipskizze eines Sharp 5030 (39).....	52
Abbildung 30: Symbolbild TEOM (40).....	53
Abbildung 31: Prinzipskizze TEOM (40)	53
Abbildung 32: Symbolbild eines Low Volume Sampler (LVS) (41).....	54
Abbildung 33: Ansicht des Low Volume Samplers von Innen (41)	54
Abbildung 34: Prinzipskizze der Chemilumineszenz (33).....	55
Abbildung 35: Symbolbild des Model 42i (42).....	56
Abbildung 36: Symbolbild eines API 200 A (43).....	56
Abbildung 37: Bild eines Ultraschallanemometers (44).....	57
Abbildung 38: Data Collect Seitenradar (SDR) (45).....	58
Abbildung 39: Lageplan des Druckerwegs (35)	59
Abbildung 40: Anordnung der Messstationen am Druckerweg.....	60
Abbildung 41: Druckerweg, Blickrichtung Nord	61
Abbildung 42: Druckerweg, Blickrichtung Süd	61
Abbildung 43: Messaufbau straßennah	61
Abbildung 44: Messaufbau straßennah	61
Abbildung 45: Messcontainer der Hintergrundmessstation	62
Abbildung 46: Low Volume Sampler.....	62
Abbildung 47: Sharp Staubmessgerät	62
Abbildung 48: Data Collect Seitenradar (SDR)	62
Abbildung 49: Lageplan der Völkermarkterstraße (35).....	66
Abbildung 50: Messstation Völkermarkter- straße (46)	66
Abbildung 51: Lageplan der Koschatstraße (35).....	67
Abbildung 52: Messstelle Koschatstraße (46).....	67
Abbildung 53: Quellgruppen der PM ₁₀ -Konzentration der Völkermarkterstraße (47)	68
Abbildung 54: Quellgruppen der PM ₁₀ -Konzentration der Koschatstraße (47)	68
Abbildung 55: Messaufbau am Brennerleweg	69
Abbildung 56: Messaufbau am Brennerle- weg	69
Abbildung 57: Lageplan der Amlacherkreuzung (48)	72
Abbildung 58: Messstation Amlacherkreuzung Ansicht Nord-Ost (48).....	72
Abbildung 59: Messstation Amlacherkreuzung Ansicht Süd (48).....	72

Abbildung 60: Lageplan der Messstation Tiefbrunnen (48).....	73
Abbildung 61: Messstation Tiefbrunnen Ansicht von Westen (48)	73
Abbildung 62: Messstation Tiefbrunnen Ansicht von Norden (48).....	73
Abbildung 63: Vergleich der PM ₁₀ Verläufe auf Basis TMW	76
Abbildung 64: Vergleich der NO _x Verläufe auf Basis TMW	76
Abbildung 65: Verkehr am Druckerweg auf Basis TMW	77
Abbildung 66: Vergleich der PM ₁₀ Verläufe auf Basis TMW	83
Abbildung 67: Vergleich der NO _x Verläufe auf Basis TMW	84
Abbildung 68: Vergleich der PM ₁₀ Verläufe auf Basis TMW	85
Abbildung 69: Vergleich der NO _x Verläufe auf Basis TMW	86
Abbildung 70: Verkehr am Brennerleweg auf Basis TMW	87
Abbildung 71: PM ₁₀ Verlauf für die Monate Jänner bis März 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW	90
Abbildung 72: PM ₁₀ Verlauf für die Monate April bis September 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW	90
Abbildung 73: PM ₁₀ Verlauf für die Monate Oktober bis Dezember 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW	91
Abbildung 74: Korrelation für die Völkermarkterstraße für die PM ₁₀ Werte auf Basis TMW	91
Abbildung 75: NO _x Verlauf für die Monate Jänner bis März 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW	92
Abbildung 76: NO _x Verlauf für die Monate April bis September 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW	92
Abbildung 77: NO _x Verlauf für die Monate Oktober bis Dezember 2009 an der Völkermarkterstraße auf Basis TMW	93
Abbildung 78: Korrelation der Völkermarkterstraße für die NO _x Werte auf Basis TMW	93
Abbildung 79: Tagesgang der Völkermarkterstraße für den Zeitraum 1. Jänner bis 31. März 2009	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 80: Vergleich der PM ₁₀ Verläufe auf Basis TMW für den Zeitraum Oktober 2009 bis März 2010.....	97
Abbildung 81: Vergleich der PM ₁₀ Verläufe auf Basis TMW für den Zeitraum April bis August 2010	97
Abbildung 82: Korrelation für die Amlacherkreuzung für die PM ₁₀ Werte auf Basis TMW	98
Abbildung 83: Vergleich der NO _x Verläufe auf Basis TMW für den Zeitraum Oktober 2009 bis März 2010	99

Abbildung 84: Vergleich der NO _x Verläufe auf Basis TMW für den Zeitraum April bis August 2010	99
Abbildung 85: Korrelation für die Amlacherkreuzung für die NO _x Werte auf Basis TMW.....	100
Abbildung 86: Vergleich der Emissionsfaktoren für die unbefestigte Straße	102
Abbildung 87: Vergleich der Emissionsfaktoren der befestigten Straße.....	104

10. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Größenordnungen des Staubes	1
Tabelle 2: Gegenüberstellung feiner und grober Partikel (3).....	4
Tabelle 3: Grenzwerte PM10	7
Tabelle 4: Grenzwerte PM2,5	7
Tabelle 5: Grenzwerte für NO ₂ , SO ₂ , CO, Pb, C ₆ H ₆ (7).....	8
Tabelle 6: Übersicht für die Werte des Emissionsfaktors (21).....	15
Tabelle 7: Werte für die Konstanten in der Formel (21)	16
Tabelle 8: Werte für Faktoren zur Berechnung der Emissionsfaktoren (21)	16
Tabelle 9: Übersicht der Emissionsfaktoren der US EPA für die unbefestigte Straße	17
Tabelle 10: Partikelgrößen-Multiplikator k (21).....	18
Tabelle 11: Werte für die Staubbeladung und Fahrzeuggewicht (22).....	18
Tabelle 12: Übersicht der Emissionsfaktoren gemäß US EPA für befestigte Straßen.....	19
Tabelle 13: Werte für die Staubbeladung und Fahrzeuggewichte für österreichische Verhältnisse	19
Tabelle 14: Übersicht der Emissionsfaktoren gemäß US EPA für befestigte Straßen für Österreich.....	20
Tabelle 15: Werte um die non exhaust Emissionsfaktoren berechnen zu können (22)	21
Tabelle 16: Übersicht der non exhaust Emissionsfaktoren des modifizierten EPA Modells...22	
Tabelle 17: Emissionsfaktoren für Straßenabrieb und Staubaufwirbelung des schwedischen Modells.....	25
Tabelle 18: Werte für die Konstanten(22)	26
Tabelle 19: Emissionsfaktoren der Schweiz (28)	28
Tabelle 20: Emissionsfaktoren nach Lükewille (30)	29
Tabelle 21: Emissionsfaktoren des RAINS Modells	29
Tabelle 22: Emissionsfaktoren des TNO Modells für PM _{2,5}	30
Tabelle 23: Emissionsfaktoren des TNO Modells für PM ₁₀	30
Tabelle 24: Emissionsfaktoren der CORINAIR	31
Tabelle 25: Emissionsfaktoren nach Lohmeyer (22)	32
Tabelle 26: Übersicht der Emissionsfaktoren der Keutschacherstraße (33).....	33
Tabelle 27: Emissionsfaktoren Mooskirchen (33)	34

Tabelle 28: Emissionsfaktoren Feldkirchner Straße (33)	35
Tabelle 29: Emissionsfaktoren für PKW PM10	38
Tabelle 30: Emissionsfaktoren für PKW PM2,5	39
Tabelle 31: Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge PM10	41
Tabelle 32: Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge PM2,5	42
Tabelle 33: Flottenemissionsfaktoren für PM10	43
Tabelle 34: Emissionsfaktoren für die Flotte PM2,5.....	45
Tabelle 35: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs PM10 für die straßennahe Messstation Druckerweg der TU Graz und die Hintergrundmessstation Druckerweg des Magistrats Klagenfurt.....	63
Tabelle 36: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs NO/NO2 für die straßennahe Messstation Druckerweg der TU Graz und für die Hintergrundmessstation Druckerweg vom Magistrat Klagenfurt	64
Tabelle 37: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs PM10 für die straßennahe Messstation Druckerweg der TU Graz und für die Hintergrundmessstation Druckerweg vom Magistrat Klagenfurt	65
Tabelle 38: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs NO/NO2 für die straßennahe Messstation Druckerweg der TU Graz und der Hintergrundmessstation Druckerweg des Magistrats Klagenfurt.....	65
Tabelle 39: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs PM10 gemessen vom Amt der Kärntner Landesregierung	67
Tabelle 40: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs NO/NO2 gemessen vom Amt der Kärntner Landesregierung	68
Tabelle 41: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs PM10 für die straßennahe Messstation Brennerleweg der TU Graz und der Hintergrundmessstation Brennerleweg des Amtes der Tiroler Landesregierung	70
Tabelle 42: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs NO/NO2 für die straßennahe Messstation Brennerleweg der TU Graz und der Hintergrundmessstation Brennerleweg des Amtes der Tiroler Landesregierung	71
Tabelle 43: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs PM10 gemessen vom Amt der Tiroler Landesregierung	74
Tabelle 44: Verfügbarkeit der Daten des Luftschadstoffs NO/NO2 gemessen vom Amt der Tiroler Landesregierung	74
Tabelle 45: Emissionsfaktoren.....	77
Tabelle 46: exhaust und non exhaust Emissionsmengen	78
Tabelle 47: PKW Emissionsfaktoren.....	79

Tabelle 48: SNF Emissionsfaktoren.....	81
Tabelle 49: Emissionsfaktoren Druckerweg.....	82
Tabelle 50: Emissionsfaktoren.....	86
Tabelle 51: exhaust und non exhaust Emissionsmengen	87
Tabelle 52: Emissionsfaktor für den Brennerleweg.....	88
Tabelle 53: Emissionsmengen und Emissionsfaktoren für die ersten 10 Tage im Jänner	94
Tabelle 54: Emissionsmengen und Emissionsfaktoren für die ersten 10 Tage im Sommerhalbjahr.....	94
Tabelle 55: Emissionsmengen und Emissionsfaktoren für die ersten 10 Tage im Dezember95	
Tabelle 56: Flottenemissionsfaktor für die Völkermarkterstraße	96
Tabelle 57: Übersicht der Emissionsfaktoren für die unbefestigte Straße für PM10 in [g/km*Fzg].....	102
Tabelle 58: Emissionsfaktoren für die Flotte, für PM10 in [g/km*Fzg]	104
Tabelle 59: Übersicht der Emissionsfaktoren für die unbefestigte Straße für PM10 in [g/km*Fzg].....	106
Tabelle 60: Emissionsfaktoren für die Flotte, für PM10 in [g/km*Fzg]	106

11. Formelverzeichnis

Formel 1: Emissionsfaktor der US EPA für unbefestigte Industriestraßen	14
Formel 2: Emissionsfaktor der US EPA für unbefestigte öffentliche Straßen	15
Formel 3: Emissionsfaktor der US EPA für befestigte Straßen	17
Formel 4: Emissionsfaktor für das jeweilige Bezugsjahr	20
Formel 5: Formel für Aufwirbelung und Abrieb.....	20
Formel 6: Formel für das modifizierte EPA Modell.....	21
Formel 7: Emissionsfaktor des SMHI Modells	23
Formel 8: Emissionsfaktor gesamt für Aufwirbelung, Abrieb und Auspuffemissionen	23
Formel 9: Emissionsfaktor für Abrieb und Auspuffemissionen	23
Formel 10: Staubbelastung der Straße.....	24
Formel 11: Emissionsfaktor für die Aufwirbelung	24
Formel 12: Emissionsfaktor für die Aufwirbelung (Sommer)	24
Formel 13: Emissionsfaktor des norwegischen Modells.....	25
Formel 14: Stickoxidkonzentration.....	27
Formel 15: Verdünnung.....	27
Formel 16: Auspuffemissionen	27
Formel 17: PM ₁₀ Emissionen	27
Formel 18: Berechnung des Emissionsfaktors aus einer Luv Lee Messung	48