

**Ingenieurbüro Lohmeyer  
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,  
Aerodynamik, Umweltsoftware**

Mohrenstraße 14, D-01445 Radebeul

Telefon: +49 (0) 351 / 8 39 14 - 0

E-Mail: [info.dd@lohmeyer.de](mailto:info.dd@lohmeyer.de)

URL: [www.lohmeyer.de](http://www.lohmeyer.de)

**EINBINDUNG DES HBEFA 3.1 IN DAS  
FIS UMWELT UND VERKEHR SOWIE  
NEUFASSUNG DER  
EMISSIONSFAKTOREN FÜR  
AUFWIRBELUNG UND ABRIEB DES  
STRASSENVERKEHRS**

Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt,  
Landwirtschaft und Geologie (LfULG)  
Pillnitzer Platz 3

01326 Dresden

Dipl.-Ing. W. Schmidt

Dr. rer. nat. I. Düring

Dr. Ing. A. Lohmeyer

Unter Mitarbeit der TU Dresden sowie der BEAK Consultants GmbH

Juni 2011  
Projekt 70675-09-10  
Berichtsumfang 110 Seiten

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>EINBINDUNG HBEFA3.1 .....</b>	<b>5</b>
2.1	Flottenzusammensetzung .....	5
2.2	Emissionsfaktoren .....	10
2.2.1	Warme Emissionsfaktoren.....	10
2.2.2	Kaltstartemissionen .....	15
2.2.3	Verdampfungsemissionen .....	16
<b>3</b>	<b>ÜBERARBEITUNG / AKTUALISIERUNG DER PM10- EMISSIONSFAKTOREN FÜR AUFWIRBELUNG UND ABRIEB .....</b>	<b>18</b>
3.1	Ausgangssituation .....	18
3.2	Literaturlauswertung.....	19
3.2.1	Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA).....	19
3.2.2	Emissionsfaktoren nach Düring und Lohmeyer (2004) .....	19
3.2.3	Emissionsfaktoren nach Schneider et al. (2006) .....	21
3.2.4	Ergebnisse des Schweizer APART-Projektes (2009) .....	23
3.2.5	Emissionsfaktoren nach CORINAIR .....	28
3.2.6	Modell der US-EPA .....	35
3.2.7	Richtlinie VDI 3790 Blatt 3 (2010).....	37
3.2.8	Vorgehen in weiteren Ländern.....	37
3.2.9	Weitere Studien .....	38
3.3	Vorgehensweise bei der Aktualisierung der nicht motorbedingten PM10- Emissionsfaktoren .....	49
3.4	Datensätze Innerorts aus der Untersuchung 2004 .....	50
3.5	Datensätze Innerorts für Untersuchungen nach 2004 .....	50
3.6	Einfluss des HBEFA 3.1 auf die Ergebnisse der vorliegenden Datenaus- wertungen.....	50
3.6.1	Grundlagen.....	50
3.6.2	Ergebnisse der Aktualisierung für die vorliegenden Datensätze.....	54

3.7 Systematisierung und Vorschlag für PM10-Emissionsfaktoren .....	54
3.8 Vergleich mit Messdaten .....	64
3.8.1 Emissionen .....	64
3.8.2 Immissionen .....	65
<b>4 SYSTEMATISIERUNG UND EINFÜHRUNG DER NICHT MOTORBEDINGTEN EMISSIONSFAKTOREN FÜR PM2.5 ENTSPRECHEND AKTUELLER FORSCHUNGEN.....</b>	<b>66</b>
<b>5 EINARBEITUNG DER NEUEN BERECHNUNGSSTRUKTUREN IN DIE VORHANDENE ORACLE-DATENBANK .....</b>	<b>74</b>
<b>6 LITERATUR .....</b>	<b>75</b>
<b>ANHANG A1: FAHRZEUGSCHICHTEN NACH HBEFA3.1 .....</b>	<b>80</b>
<b>ANHANG A2: BERICHT TU DRESDEN .....</b>	<b>87</b>

#### Hinweise:

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

Literaturstellen sind im Text durch Name und Jahreszahl zitiert. Im Kapitel Literatur findet sich dann die genaue Angabe der Literaturstelle.

Es werden Dezimalpunkte (= wissenschaftliche Darstellung) verwendet, keine Dezimalkommas. Eine Abtrennung von Tausendern erfolgt durch Leerzeichen.

## ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

### **Emission / Immission**

Als Emission bezeichnet man die von einem Fahrzeug ausgestoßene Luftschadstoffmenge in Gramm Schadstoff pro Kilometer oder bei anderen Emittenten in Gramm pro Stunde. Die in die Atmosphäre emittierten Schadstoffe werden vom Wind verfrachtet und führen im umgebenden Gelände zu Luftschadstoffkonzentrationen, den so genannten Immissionen. Diese Immissionen stellen Luftverunreinigungen dar, die sich auf Menschen, Tiere, Pflanzen und andere Schutzgüter überwiegend nachteilig auswirken. Die Maßeinheit der Immissionen am Untersuchungspunkt ist  $\mu\text{g}$  (oder mg) Schadstoff pro  $\text{m}^3$  Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  oder  $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

### **Hintergrundbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung**

Als Hintergrundbelastung werden im Folgenden die Immissionen bezeichnet, die bereits ohne die Emissionen des Straßenverkehrs auf den betrachteten Straßen an den Untersuchungspunkten vorliegen. Die Zusatzbelastung ist diejenige Immission, die ausschließlich vom Verkehr auf dem zu untersuchenden Straßennetz oder der zu untersuchenden Straße hervorgerufen wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Hintergrundbelastung und Zusatzbelastung und wird in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  oder  $\text{mg}/\text{m}^3$  angegeben.

### **Grenzwerte / Vorsorgewerte**

Grenzwerte sind zum Schutz der menschlichen Gesundheit vom Gesetzgeber vorgeschriebene Beurteilungswerte für Luftschadstoffkonzentrationen, die nicht überschritten werden dürfen, siehe z.B. Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Vorsorgewerte stellen zusätzliche Beurteilungsmaßstäbe dar, die zahlenmäßig niedriger als Grenzwerte sind und somit im Konzentrationsbereich unterhalb der Grenzwerte eine differenzierte Beurteilung der Luftqualität ermöglichen.

### **Jahresmittelwert / Kurzzeitwert (Äquivalentwert)**

An den betrachteten Untersuchungspunkten unterliegen die Konzentrationen der Luftschadstoffe in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen etc. ständigen Schwankungen. Die Immissionskenngrößen Jahresmittelwert und weitere Kurzzeitwerte charakterisieren diese Konzentrationen. Der Jahresmittelwert stellt den über das Jahr gemittelten Konzentrationswert dar. Eine Einschränkung hinsichtlich Beurteilung der Luftqualität mit Hilfe des Jahresmittelwertes besteht darin, dass er nichts über Zeiträume mit hohen Konzentrationen aussagt. Eine das ganze Jahr über konstante Konzentration kann

zum gleichen Jahresmittelwert führen wie eine zum Beispiel tagsüber sehr hohe und nachts sehr niedrige Konzentration.

Die Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) fordert die Einhaltung von Kurzzeitwerten in Form des Stundenmittelwertes der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 200 µg/m<sup>3</sup>, der nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf, und des Tagesmittelwertes der PM10-Konzentration von 50 µg/m<sup>3</sup>, der maximal an 35 Tagen überschritten werden darf. Da diese Werte derzeit nicht direkt berechnet werden können, erfolgt die Beurteilung hilfsweise anhand von abgeleiteten Äquivalentwerten auf Basis der Jahresmittelwerte bzw. 98-Perzentilwerte (Konzentrationswert, der in 98 % der Zeit des Jahres unterschritten wird). Diese Äquivalentwerte sind aus Messungen abgeleitete Kennwerte, bei deren Unterschreitung auch eine Unterschreitung der Kurzzeitwerte erwartet wird.

### **Verkehrssituation**

Emissionen und Kraftstoffverbrauch der Kraftfahrzeuge (Kfz) hängen in hohem Maße vom Fahrverhalten ab, das durch unterschiedliche Betriebszustände wie Leerlauf im Stand, Beschleunigung, Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsverzögerung etc. charakterisiert ist. Das typische Fahrverhalten kann zu so genannten Verkehrssituationen zusammengefasst werden. Verkehrssituationen sind durch die Merkmale eines Straßenabschnitts wie Geschwindigkeitsbeschränkung, Ausbaugrad, Vorfahrtregelung etc. charakterisiert. In der vom Umweltbundesamt herausgegebenen Datenbank „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ sind für verschiedene Verkehrssituationen Schadstoffemissionen angegeben.

### **Feinstaub / PM10 / PM2.5**

Mit Feinstaub bzw. PM10 / PM2.5 werden alle Partikel bezeichnet, die einen gröÙenselektierenden Lufterlass passieren, der für einen aerodynamischen Partikeldurchmesser von 10 µm bzw. 2.5 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist. Die PM10-Fraktion wird auch als inhalierbarer Staub bezeichnet. Die PM2.5-Fraktion gelangt bei Inhalation vollständig bis in die Alveolen der Lunge; sie umfasst auch den wesentlichen Masseanteil des anthropogen erzeugten Aerosols, wie Partikel aus Verbrennungsvorgängen und Sekundärpartikel.

## 1 AUFGABENSTELLUNG

Im November 2009 wurde am LfULG mit der Installation und Abnahme des Fachinformationssystems Umwelt und Verkehr (FIS) ein Projekt abgeschlossen, dessen Ziel es war, eine einheitliche, referatsübergreifende Datenbasis zu schaffen, die den unterschiedlichen fachlichen Anforderungen im Bereich Umwelt und Verkehr gerecht wird.

Ein Schwerpunktthema in diesem Bereich ist die Luftreinhaltung. Wesentliches Werkzeug zur Berechnung der Auspuffemissionen des Straßenverkehrs ist das „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (HBEFA). Diese Emissionsfaktorendatenbank wurde erstmals 1995 veröffentlicht und liegt seit März 2010 in der vierten Aktualisierungsversion als HBEFA3.1 vor. Darin wurde gegenüber der Vorgängerversion HBEFA2.1 aus dem Jahre 2004 nicht nur die Datenbasis der Emissionsfaktoren qualitativ verbessert bzw. um neue Emissionskonzepte erweitert, es wurde vielmehr eine völlige Neustrukturierung der Verkehrssituationen - eine äußerst relevante Eingangsgröße zur Emissionsmodellierung - vorgenommen.

Die Berechnung der PM10-Emissionen schließt im FIS neben den auspuffbedingten Emissionen auch die nicht motorbedingten Emissionen aus Abrieb und Aufwirbelung ein. Die Emissionsfaktoren dafür wurden in einer Untersuchung auf der Basis von Immissionsdaten sowie modellierten motorbedingten Emissionen berechnet (Lohmeyer, 2004 bzw. Düring und Lohmeyer, 2004). Grundlage für diese Emissionsmodellierung war dabei das HBEFA2.1. Die neuen Emissionsfaktoren des HBEFA3.1 wirken sich deshalb auch auf das Niveau der nicht motorbedingten Emissionen aus.

Vor dem Hintergrund der Umsetzung der RL 2008/50/EG, in der Ziel- und Grenzwerte für die Luftqualität mit Bezug auf die PM2.5-Konzentration festgelegt [Zielwert (2010), Grenzwert (2015), Richtgrenzwert (2020)] werden, ist im FIS eine Quantifizierung der PM2.5-Emissionen notwendig. Weder in HBEFA2.1 noch in HBEFA3.1 liegen jedoch Emissionsfaktoren für diese Schadstoffkomponente vor.

Ziele des Projektes sind deshalb:

- der Import sämtlicher relevanter Daten des HBEFA3.1 in das FIS
- die Aktualisierung bzw. qualitative Verbesserung der Emissionsfaktoren für PM10- sowie PM2.5

- die Einbindung der neuen Daten in die vorhandenen Eingabe-, Berechnungs- und Auswertemodule des FIS.

Aus den oben genannten Zielen ergeben sich folgende Arbeitspakete, die in einer Kooperation zwischen der Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG (LOH), der BEAK Consultants GmbH und dem Lehrstuhl für Verkehrsökologie der TU Dresden bearbeitet wurden:

**Arbeitspaket 1:** Einbindung HBEFA3.1

Bearbeitung: TU Dresden, LOH

**Arbeitspaket 2:** Überarbeitung / Aktualisierung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb mittels NO<sub>x</sub>-Tracermethode bzw. Ausbreitungs-berechnungen auf Basis des HBEFA3.1 für NO<sub>x</sub> und PM10

Bearbeitung: LOH

**Arbeitspaket 3:** Systematisierung und Einführung der nichtmotorbedingten Emissionsfaktoren für PM2.5 entsprechend aktueller Forschungen

Bearbeitung: LOH

**Arbeitspaket 4:** Einarbeitung der neuen Berechnungsstrukturen in die vorhandene ORACLE-Datenbank

Bearbeitung: BEAK, LOH

## 2 EINBINDUNG HBEFA3.1

Die in HBEFA3.1 enthaltenen Daten gliedern sich prinzipiell in spezifische Emissionsfaktoren und Aktivitätsdaten der Fahrzeuge.

Spezifische Emissionsfaktoren liegen für die Emissionsarten

- Emissionen im Betrieb (warme Emissionen) [g/km]
- Kaltstartemissionen [g/km]
- Verdunstungsemissionen durch Motorabstellen [g/Abstellvorgang]
- Verdunstungsemissionen durch Tankatmung [g/Tag und Abstellvorgang]

vor.

Aktivitätsdaten werden in HBEFA in Form von Fahrleistungsanteilen der Fahrzeuge ausgewiesen.

Sowohl die Emissionsfaktoren als auch die Fahrleistungsanteile sind nicht statisch, sondern unterliegen einer zeitlichen Veränderung. Diese wird bei den spezifischen Emissionsfaktoren durch den Laufleistungseinfluss, d. h. vor allem durch die Verringerung des Katalysatorwirkungsgrades hervorgerufen. Die zeitliche Änderung der Fahrleistungsanteile ist durch die begrenzte Nutzungsdauer der Fahrzeuge begründet. Dieser zeitliche Einfluss wird in HBEFA berücksichtigt, sodass die spezifischen Emissionsfaktoren bezugsjahrabhängig ausgewiesen werden. HBEFA3.1 enthält Emissionsfaktoren und Fahrleistungsanteile für die Bezugsjahre 1994-2030.

Zur Einbindung der Daten des HBEFA3.1 in das FIS wurden deshalb die relevanten Emissionsfaktoren und Fahrleistungsanteile aller verfügbaren Bezugsjahre ausgelesen und entsprechend der Datenbankstruktur im FIS aufbereitet. Die aufbereiteten Daten liegen in Tabellenform in einer MICROSOFT ACCESS-Datenbank vor.

### 2.1 Flottenzusammensetzung

In HBEFA gliedert sich der Fahrzeugbestand in die Fahrzeugkategorien

- Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) (LKW  $\leq$  3.5 t zGG)
- Personenkraftwagen (PKW)

- Linienbusse
- Reisebusse
- Schwere Nutzfahrzeuge
  - Solo-Lastkraftwagen (LKW >3.5 t)
  - Lastzüge
  - Sattelzüge
- Zweiräder
  - Motorräder
  - Mofas und Kleinkrafträder.

Jede dieser Kategorien setzt sich aus Fahrzeugschichten zusammen, die ein annähernd gleiches Emissionsverhalten aufweisen. Gliederungskriterien sind dabei im Wesentlichen die Antriebsart, das Abgasreinigungskonzept sowie die Größen- bzw. Hubraumklasse. **Abb. 2.1** zeigt die prinzipielle Struktur des Fahrzeugbestands in HBEFA, exemplarisch für die Fahrzeugkategorie PKW. Danach gliedern sich in HBEFA3.1 die PKW in 75, der gesamte Fahrzeugbestand in 346 Fahrzeugschichten.

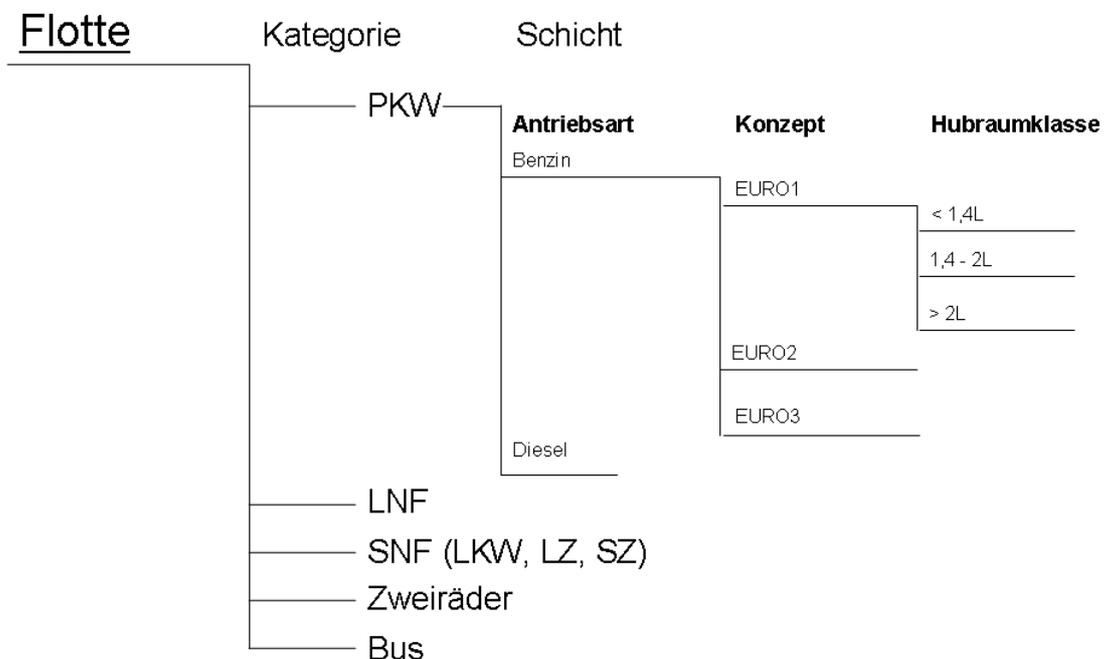


Abb. 2.1: Prinzipielle Struktur der Fahrzeuge in HBEFA

Wesentliche Änderungen gegenüber HBEFA2.1 bestehen in der Einführung neuer Fahrzeugschichten der Konzepte EURO5 und EURO6 sowie die Differenzierung der Fahrzeugschichten mit Dieselpartikelfilter (DPF) nach Filtertechnologie in Abgasrückführung (Exhaust Gas Recirculation - EGR) und selektive katalytische Reduktion (selective catalytic reduction - SCR).

Für jede Fahrzeugschicht liegen die spezifischen Emissionsfaktoren der einzelnen Emissionsarten vor, die - bei gleichem Fahrverhalten - zum Teil sehr unterschiedlich sind. So ist der PM10-Emissionsfaktor eines Diesel-PKW EURO1 im Innerortsverkehr ca. 60fach höher als der eines Diesel-PKW EURO4 mit Partikelfilter. Zur Ermittlung eines repräsentativen Emissionsfaktors für eine Kategorie sind deshalb die Fahrleistungsanteile der einzelnen Schichten innerhalb ihrer Kategorie im jeweiligen Bezugsjahr relevant.

Die Fahrleistungsanteile werden in Abhängigkeit von der Straßenlage nach Innerorts-, Außerorts- und Autobahn-Fahrleistungsanteile unterschieden und sind sehr stark bezugsjahrsabhängig. Im Diagramm in **Abb. 2.2** ist exemplarisch der zeitliche Verlauf der Fahrleistungsanteile der PKW-Konzepte entsprechend HBEFA3.1 dargestellt.

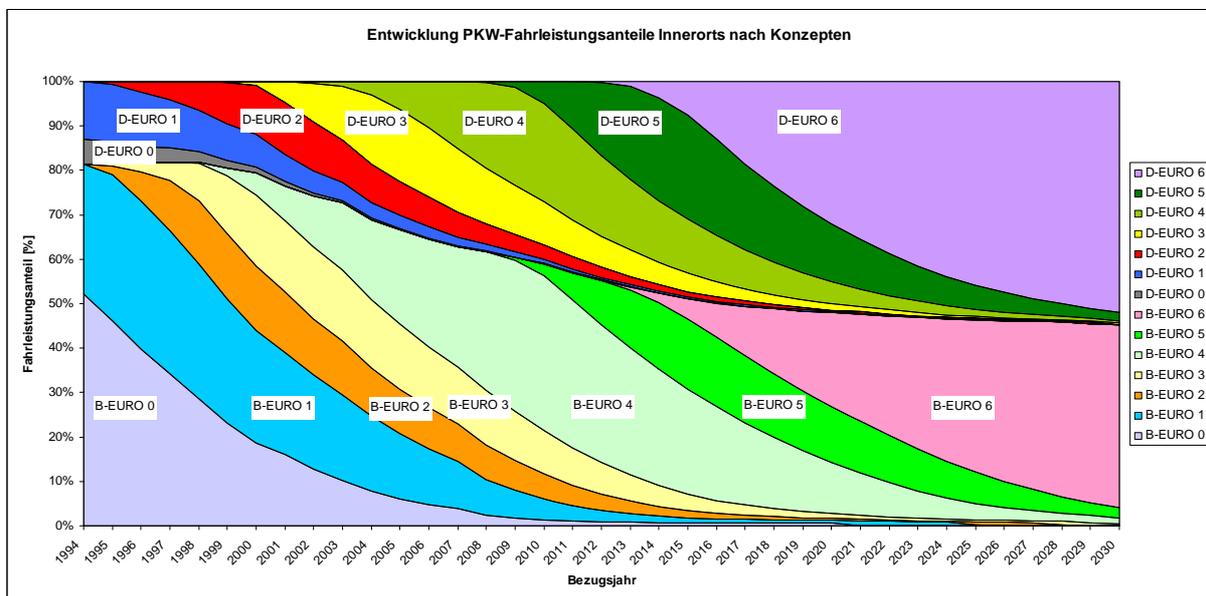


Abb. 2.2: Entwicklung PKW-Fahrleistungsanteile Innerorts nach Konzepten

Zur Berechnung eines repräsentativen Emissionsfaktors einer Fahrzeugkategorie werden die Schicht-Emissionsfaktoren entsprechend ihres Fahrleistungsanteils gewichtet. In HBEFA werden dazu standardmäßig Deutschland-Mittelwerte verwendet.

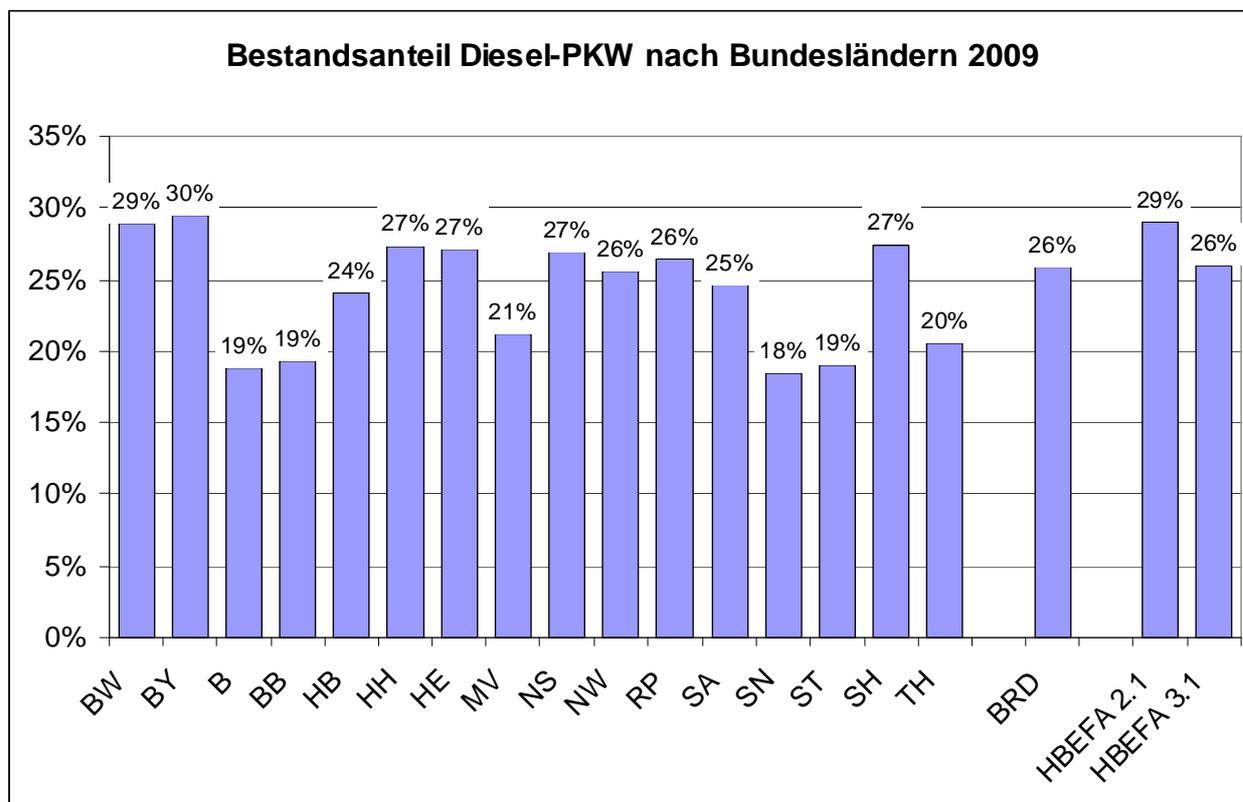


Abb. 2.3: Bestandsanteile Diesel-PKW 2009 nach Bundesländern [KBA-Statistik]

Dass die regionalen Abweichungen zum bundesdeutschen Durchschnitt relativ groß sein können, zeigt beispielhaft der Bestandsanteil an Diesel-PKW nach deutschen Bundesländern in **Abb. 2.3**. Danach liegen in allen fünf neuen Bundesländern die Diesel-Anteile deutlich unter dem bundesdeutschen Durchschnitt - Sachsen weist mit 18 % im Bundesvergleich sogar den geringsten Anteil auf. Der reale Bestandsanteil beträgt im Bundesdurchschnitt 26 %, in HBEFA2.1 wurden für das Jahr 2009 sogar 29 % prognostiziert. In HBEFA3.1 wurden die Fahrleistungsanteile korrigiert, sodass dort nunmehr für den Diesel-PKW-Bestand des Jahres 2009 der bundesdeutsche Durchschnitt des KBA von 26 % übernommen wurde.

In Anbetracht der großen Unterschiede der Emissionsfaktoren innerhalb der Dieselschichten, vor allem aber weil motorbedingte Partikelemissionen fast ausnahmslos durch dieselgetriebene Fahrzeuge verursacht werden, sind diese regionalen Abweichungen vom Bundesdurchschnitt nicht zu vernachlässigen.

Im FIS werden deshalb auf Basis der Statistik des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) sachsen-spezifische Fahrleistungsanteile berechnet. Die KBA-Statistik weist mit den Zahlen zum Fahrzeugbestand die so genannte statische Flotte aus. Zur Emissionsberechnung ist jedoch

nicht die statische, sondern vielmehr die dynamische Flotte, d. h. die Fahrleistungsanteile der Fahrzeugschichten relevant. Die Umrechnung der statischen Flotte zur dynamischen Flotte erfolgt auf der Basis so genannter Fahrleistungsfaktoren aus HBEFA. Diese bilden das Verhältnis aus Fahrleistungsanteil und statischem Bestand ab.

Emissionskonzept	Anteil Bestand	Fahrleistungsanteil			Fahrleistungsfaktor		
		AB	AO	IO	AB	AO	IO
Benzin-EURO 0	2.8 %	1.1 %	1.4 %	1.4 %	0.41	0.51	0.51
Benzin-EURO 1	7.4 %	3.5 %	4.6 %	4.6 %	0.48	0.62	0.62
Benzin-EURO 2	7.8 %	4.9 %	5.6 %	5.6 %	0.62	0.72	0.72
Benzin-EURO 3	12.8 %	8.7 %	9.9 %	9.9 %	0.68	0.77	0.77
Benzin-EURO 4	39.4 %	35.4 %	34.7 %	34.7 %	0.90	0.88	0.88
Benzin-EURO 5	2.9 %	2.7 %	2.7 %	2.7 %	0.91	0.93	0.93
Benzin-EURO 6	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.00	0.00	0.00
Diesel-EURO 0	0.2 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.43	0.61	0.61
Diesel-EURO 1	1.0 %	0.7 %	0.9 %	0.9 %	0.74	0.94	0.94
Diesel-EURO 2	3.1 %	3.0 %	3.3 %	3.3 %	0.98	1.08	1.08
Diesel-EURO 3	7.2 %	9.9 %	9.6 %	9.6 %	1.38	1.33	1.33
Diesel-EURO 4	13.0 %	24.5 %	22.2 %	22.2 %	1.88	1.71	1.71
Diesel-EURO 5	2.5 %	5.5 %	4.9 %	4.9 %	2.22	1.97	1.97
Diesel-EURO 6	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.00	0.00	0.00

Tab. 2.1: Fahrleistungsfaktoren PKW 2010 nach Konzepten [HBEFA3.1]

Die **Tab. 2.1** zeigt exemplarisch die Fahrleistungsanteile der Fahrzeugkategorie PKW nach Emissionskonzepten für das Bezugsjahr 2010 auf den verschiedenen Straßenlagen. Bei PKW erfolgt dabei keine Unterscheidung zwischen Innerorts- und Außerortsstraßen. Die Fahrleistungsfaktoren zeigen deutlich zwei Effekte. Zum Einen haben Diesel-Fahrzeuge bzgl. ihres Bestandes eine überdurchschnittlich hohe Fahrleistung. Dies ist auf die derzeit in Deutschland bestehenden Unterschiede in Mineralölsteuer und Kfz-Steuer zwischen Diesel- und Otto-Kraftstoff bzw. -Fahrzeug zurückzuführen. Zum Anderen haben ältere Fahrzeuge einen geringeren Fahrleistungsanteil als neuere. Diese Tendenz ist in allen Fahrzeugkategorien zu beobachten.

Zur Berechnung der sachsenspezifischen Flottenzusammensetzung wurden deshalb die Fahrleistungsfaktoren aller, im Zeitraum 1994-2030 in HBEFA3.1 ausgewiesenen Fahrzeugschichten berechnet. Wie in **Abb. 2.2** dargestellt, werden die Fahrzeugschichten der verschiedenen Konzepte in HBEFA nicht über den Gesamtzeitraum mit Fahrleistungsanteilen ausgewiesen. So haben z. B. EURO6-Benzin-PKW im bundesdeutschen Durchschnitt

erst ab 2012, EURO1-Benzin-PKW hingegen nur bis 2026 Anteile an der Gesamt-PKW-Fahrleistung. Um jedoch im FIS die Möglichkeit der sachsenspezifischen Fahrleistungsbeurteilung aller Fahrzeugschichten, unabhängig von deren Anteil im bundesdeutschen Durchschnitt zu gewährleisten, wurden die Fahrleistungsfaktoren des letzten bzw. ersten Jahres aus HBEFA für die Jahre bis 2030 vor- bzw. 1994 nachgetragen.

## 2.2 Emissionsfaktoren

Die spezifischen Emissionsfaktoren der verschiedenen Emissionsarten liegen in HBEFA in der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Disaggregation fahrzeugschichtfein für definierte Betriebszustände vor. Zur Berücksichtigung des Laufleistungseinflusses werden die Emissionsfaktoren bezugsjahresabhängig analog der Flottenzusammensetzung für die Jahre 2004 bis 2030 ausgewiesen. Zur Gewährleistung der Berechnungsmöglichkeit sachsenspezifischer Emissionsfaktoren, wurden analog der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Vorgehensweise die spezifischen Emissionsfaktoren des letzten bzw. ersten Jahres aus HBEFA für die Jahre bis 2030 vor- bzw. 1994 nachgetragen.

### 2.2.1 Warme Emissionsfaktoren

Warme Emissionsfaktoren beziehen sich auf den Schadstoffausstoß im warmen bzw. heißen Motorenbetriebszustand. Sie werden in HBEFA in g/km ausgewiesen und hängen bei allen Fahrzeugkategorien vom Fahrverhalten bzw. der Verkehrssituation und der Längsneigung ab. Im Unterschied zu HBEFA2.1 werden in HBEFA3.1 warme Emissionsfaktoren zusätzlich für die Schadstoffkomponenten NO<sub>2</sub> sowie für Partikelanzahl (PN) ausgewiesen, die Komponenten Toluol und Xylol sind jedoch in HBEFA nicht mehr enthalten. Diese Schadstoffe wurden in HBEFA2.1, wie in **Tab. 2.2** dargestellt als Anteil an Kohlenwasserstoffen (HC) ausgewiesen. Diese Anteile wurden übernommen und auf die HC-Emissionsfaktoren des HBEFA3.1 übertragen.

Konzept	Anteil HC	
	Xylol	Toluol
Otto Konventionell	8,50%	10,50%
Otto GKat	7,70%	9,30%
Diesel	0,80%	0,32%
2T Konv (Krafträder)	11,00%	12,10%
2T Kat (Krafträder)	11,00%	12,10%

Tab. 2.2: Anteil Xylol- und Toluol-Emissionsfaktoren an HC bei warmen Emissionen

Zur Abbildung des Fahrverhaltens werden in HBEFA3.1 aus Kombination der Kriterien

- Gebiet (Agglomerationsraum, ländlich geprägter Raum)
- Straßentyp (Autobahn, Fernstraßen, Hauptverkehrsstraßen, Sammelstraßen, Erschließungsstraßen)
- Tempolimit sowie
- Level of service (LOS) (flüssig, dicht, gesättigt, Stop&Go)

insgesamt 276 Verkehrssituationen definiert.

Diese Struktur ist mit der Beschreibung der Verkehrssituationen in HBEFA2.1 nicht vergleichbar, sodass zur Übertragung der Emissionsfaktoren aus HBEFA3.1 auf die Datenlage zur Verkehrssituation im FIS eine Zuordnung der Verkehrssituationen HBEFA2.1 zu HBEFA3.1 vorgenommen werden musste. Diese Zuordnung erfolgte durch den Lehrstuhl für Verkehrsökologie der TU Dresden. Das Ergebnis dieser Zuordnung ist in **Tab. 2.3** enthalten. Das detaillierte Vorgehen ist im Bericht „Erarbeitung einer plausiblen Übertragung der Verkehrssituationen aus HBEFA2.1 zu HBEFA3.1“ dokumentiert (siehe Anhang A2).

Neben den in **Tab. 2.3** enthaltenen HBEFA3.1-Verkehrssituationen, die zur Übertragung sämtlicher derzeit im FIS enthaltenen HBEFA2.1-Verkehrssituationen benötigt werden, wurde eine zusätzliche Auswahl an Verkehrssituationen getroffen, die darüber hinaus in das FIS übernommen werden sollten. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Innerortsverkehrssituationen, da im FIS auf Außerortsstraßen im Allgemeinen mittlere Verkehrssituationen enthalten sind und eine Differenzierung somit in der Regel nur auf den Strecken der kommunalen Straßennetze vorgenommen wird.

Anteil HBEFA2.1	HBEFA2.1	Anteil HBEFA3.1	HBEFA3.1
100 %	AB>120	100 %	Land/AB/130/fluessig
100 %	AB_100	100 %	Land/AB/100/fluessig
100 %	AB_80	100 %	Land/AB/80/fluessig
100 %	AO_1	100 %	Land/FernStr/80/fluessig
100 %	AO_2	100 %	Land/FernStr/70/fluessig
100 %	AO_3	100 %	Land/HVS-kurv./80/fluessig
100 %	IO_HVS>50_2	100 %	Agglo/FernStr-City/50/fluessig
100 %	IO_HVS1	100 %	Agglo/HVS/60/fluessig
100 %	IO_HVS2	100 %	Agglo/HVS/50/fluessig
100 %	IO_HVS3	100 %	Agglo/FernStr-City/50/dicht
100 %	IO_HVS4	100 %	Agglo/Sammel/50/dicht
100 %	IO_LSA1	100 %	Agglo/FernStr-City/50/dicht
100 %	IO_LSA2	100 %	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
100 %	IO_LSA3	100 %	Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt
100 %	IO_Kern	60 %	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
		40 %	IO-StGo
100 %	IO_Nebenstr_dicht	60 %	Agglo/Erschliessung/30/gesaettigt
		40 %	IO-StGo

Tab. 2.3: Zuordnung Innerortsverkehrssituationen HBEFA2.1/HBEFA3.1 für das sächsische Emissionskataster

**Abb. 2.4** zeigt die in HBEFA3.1 enthaltenen Innerortsverkehrssituationen im Agglomerationsraum für die verschiedenen LOS. Zusammengezogene Felder bedeuten dabei identische Fahrverhalten und somit identische spezifische Emissionsfaktoren der jeweiligen Verkehrssituationen. Die Bezeichnungen IO/AO deuten auf die Flottenzusammensetzung Innerorts bzw. Außerorts hin. Da im FIS jedoch die Zuordnung der Fahrzeugflotten nicht über die Verkehrssituation, sondern über die Attributierung der Geo-Daten erfolgt, ist diese Unterscheidung irrelevant.

flüssig		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Agglomeration	Fern-, Bundesstr.					IO	AO	AO	AO	AO			
	Magistrale / Ringstr.			IO	IO	IO	AO	AO					
	HVS			IO	IO	IO	AO						
	Sammelstr.			IO	IO								
	Erschliessungsstr.	IO	IO	IO									

dicht		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Agglomeration	Fern-, Bundesstr.					IO	AO	AO	AO	AO			
	Magistrale / Ringstr.			IO	IO	IO	AO	AO					
	HVS			IO	IO	IO	AO						
	Sammelstr.			IO	IO								
	Erschliessungsstr.	IO	IO	IO									

gesättigt		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Agglomeration	Fern-, Bundesstr.					IO	AO	AO	AO	AO			
	Magistrale / Ringstr.			IO	IO	IO	AO	AO					
	HVS			IO	IO	IO	AO						
	Sammelstr.			IO	IO								
	Erschliessungsstr.	IO	IO	IO									

stgo		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Agglomeration	Fern-, Bundesstr.					IO	AO	AO	AO	AO			
	Magistrale / Ringstr.			IO	IO	IO	AO	AO					
	HVS			IO	IO	IO	AO						
	Sammelstr.			IO	IO								
	Erschliessungsstr.	IO	IO	IO									

Abb. 2.4: Innerortsverkehrssituationen im Agglomerationsraum nach HBEFA3.1

Danach zeigt sich, dass den Straßentypen Fern-, Bundesstraße und Magistrale/Ringstraße im gemeinsamen Geschwindigkeitsbereich 70-90km/h die gleichen Emissionsfaktoren hinterlegt sind. Die tatsächliche Differenzierung ist im LOS „flüssig“ am Größten. Mit schlechter werdendem LOS nimmt diese Differenzierung ab, da dann davon ausgegangen wird, dass der Straßentyp und das Tempolimit nicht mehr die Kriterien sind, die das Fahrverhalten bestimmen. So wird schließlich im LOS „Stop&Go“ nur noch zwischen Stop&Go auf Innerorts- und Außerortsstraßen unterschieden. Diese Redundanzen wurden nicht in das FIS übernommen.

Die komplette Auswahl aller insgesamt 81 Verkehrssituationen aus HBEFA3.1 sowie FIS-spezifischen mittleren Verkehrssituationen ist in **Abb. 2.5** enthalten. Die Auswahl deckt sämtliche Verkehrssituationen für den Innerortsbereich im Agglomerationsraum sowie die

wesentlichen Außerorts- und Autobahnsituationen ab. Zur Abbildung der Verkehrssituationen im LOS „Stop&Go“ wurde jeweils eine Stop&Go-Verkehrssituation auf Außerorts-, Innerortsstraßen sowie auf Autobahnen übernommen.

Verkehrssituation	Tempolimit (TL)											
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	>130
Land/AB/TL/fluessig						x	x	x	x	x	x	x
Land/AB/TL/dicht						x	x	x	x	x	x	x
Land/AB/TL/gesaettigt						x	x	x	x	x	x	x
Land/FernStr/TL/fluessig					x	x						
Land/FernStr/TL/dicht					x	x						
Land/FernStr/TL/gesaettigt					x	x						
Land/HVS-kurv./TL/fluessig						x						
Land/HVS-kurv./TL/dicht						x						
Land/HVS-kurv./TL/gesaettigt						x						
Agglo/FernStr-City/TL/fluessig			x	x	x	x	x					
Agglo/FernStr-City/TL/dicht			x	x	x	x	x					
Agglo/FernStr-City/TL/gesaettigt			x	x	x	x	x					
Agglo/HVS/TL/fluessig			x	x	x							
Agglo/HVS/TL/dicht			x	x	x							
Agglo/HVS/TL/gesaettigt			x	x	x							
Agglo/Sammel/TL/fluessig			x	x								
Agglo/Sammel/TL/dicht			x	x								
Agglo/Sammel/TL/gesaettigt			x	x								
Agglo/Erschliessung/TL/fluessig	x	x	x									
Agglo/Erschliessung/TL/dicht	x	x	x									
Agglo/Erschliessung/TL/gesaettigt	x	x	x									
Agglo/Außerorts/TL/stop+go												
Agglo/Innerorts/TL/stop+go												
Land/Autobahn/TL/stop+go												
Kernstadtmix_HBEFA2												
Nebenstraßenmix_HBEFA21												
DEK_Autobahn_frei												
DEK_Autobahn_gebunden												
DEK_außerorts												
DEK_innerorts_Nebennetz												
DEK_innerorts_Hauptnetz												
Belastungsgrad 1												
Belastungsgrad 2												

Abb. 2.5: Übernommene Verkehrssituationen nach HBEFA3.1 sowie FIS-spezifische Verkehrssituationen

Zur Übertragung der HBEFA2.1-Verkehrssituationen IO\_Kern sowie IO\_Nebenstr\_dicht, für die es keine eindeutige Entsprechung gibt, wurde entsprechend den in **Tab. 2.3** dargestellten Anteilen ein Mix aus HBEFA3.1 Verkehrssituationen gebildet.

Entsprechend der Datenlage im FIS wurden die Verkehrssituationen in Kombination mit den Streckenlängsneigungsklassen 0 %,  $\pm 2$  %,  $\pm 4$  % und  $\pm 6$  % schichtfein für alle Bezugsjahre übernommen (**Abb. 2.5**).

### 2.2.2 Kaltstartemissionen

Die Kaltstart-Emissionsfaktoren werden in HBEFA als Emissionszuschläge bei Startvorgängen in g/Start lediglich für die Fahrzeugkategorien PKW und LNF ausgewiesen. Zur Berechnung der Höhe der Kaltstartfaktoren werden in HBEFA folgende Einflussfaktoren berücksichtigt:

- Umgebungstemperatur beim Startvorgang,
- Fahrtweiten anschließend an den Startvorgang,
- Standzeiten (als Näherung für die Motortemperatur beim Starten).

Dazu werden sowohl spezifische Randbedingungen wie einzelne Temperaturbereiche, stundenfeine Parkdauern oder einzelne Fahrkilometer als auch mittlere Jahreszeiten, bundesdeutsche Jahresmitteltemperaturen, mittlere Standzeitenverteilungen oder mittlere Fahrtweitenverteilungen angeboten. Zur Berücksichtigung des Fahrverhaltens wird eine mittlere Verkehrssituation angenommen.

Im FIS wird der Kaltstart als Flächenemission pro Gemeinde berechnet. Dabei werden die Kaltstartfaktoren kilometerfein, d. h. für die fünf, in HBEFA als kaltstartrelevanten Kilometer enthaltenen Emissionsfaktoren mit der durchschnittlichen Startanzahl/Gemeinde multipliziert.

Analog der in Abschnitt 2.2.1 für die warmen Emissionsfaktoren beschriebenen Vorgehensweise wurden die Emissionsfaktoren der fünf Kaltstartkilometer für die verfügbaren Fahrzeugschichten für alle Bezugsjahre aufbereitet.

Die Berechnung der Komponenten Xylol und Toluol erfolgte bei den Kaltstartfaktoren auf Basis der aus HBEFA2.1 übernommenen Anteile an den Kohlenwasserstoff-Emissionsfaktoren entsprechend **Tab. 2.4**.

Konzept	Anteil HC	
	Xylol	Toluol
Otto Konventionell	11,00%	12,10%
Otto GKat	9,90%	10,50%
Diesel	0,80%	0,30%
2T Konv (Krafträder)	11,00%	12,10%
2T Kat (Krafträder)	11,00%	12,10%

Tab. 2.4: Anteil Xylol-Toluol-Emissionsfaktoren an HC bei Kaltstartemissionen

### 2.2.3 Verdampfungsemissionen

Verdampfungsemissionen betreffen HC-Emissionen und entstehen infolge Tankatmung sowie nach Motorabstellen. In HBEFA werden sie für die Fahrzeugkategorien PKW, LNF und Zweiräder in g/Fahrzeug und Tag für die Tankatmungsemissionen bzw. in g/Abstellvorgang und Fahrzeug für die Emissionen nach Motorabstellen ausgewiesen.

Zur Berechnung der Höhe der Verdampfungs-Emissionen nach Motorabstellen werden in HBEFA folgende Einflussfaktoren berücksichtigt:

- Außentemperatur,
- Länge der vorausgehenden Fahrt
- Temperatur des Motors (angenähert über eine Standzeit bzw. -verteilung).

Wichtigste Ursache der Tankatmungsemissionen sind Änderungen der Umgebungstemperatur im Verlauf eines Tages.

In HBEFA3.1 sind diese Einflüsse intern hinterlegt, ausgegeben wird lediglich ein mittlerer Emissionsfaktor, d.h. die Einflussparameter sind nicht variabel.

Analog der in Abschnitt 2.2.1 für die warmen Emissionsfaktoren beschriebenen Vorgehensweise wurden die Emissionsfaktoren der Verdampfungsemissionen für die verfügbaren Fahrzeugschichten für alle Bezugsjahre aufbereitet.

Die Berechnung der Komponenten Xylol und Toluol erfolgte bei den Verdampfungsemissionen auf Basis der aus HBEFA2.1 übernommenen Anteile an den Kohlenwasserstoff-Emissionsfaktoren entsprechend **Tab. 2.5**.

Konzept	Anteil HC	
	Xylol	Toluol
Otto Konventionell	1,00%	3,00%
Otto GKat	1,00%	3,00%
Diesel	0,00%	0,00%
2T Konv (Krafträder)	1,00%	3,00%
2T Kat (Krafträder)	1,00%	3,00%

Tab. 2.5: Anteil Xylol-Toluol-Emissionsfaktoren an HC bei Verdampfungsemissionen

### 3 ÜBERARBEITUNG / AKTUALISIERUNG DER PM10-EMISSIONSFAKTOREN FÜR AUFWIRBELUNG UND ABRIEB

#### 3.1 Ausgangssituation

Durch die Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG wurde im Jahr 2004 ein Satz von PM10-Emissionsfaktoren für die nicht motorbedingten PM10-Anteile erstellt (Lohmeyer, 2004a sowie Düring und Lohmeyer, 2004). Dieser wird derzeit als „quasi Standard“ bundesweit bei den Emissionsberechnungen eingesetzt.

Diese Emissionsfaktoren basieren auf 51 Datensätzen und orientierten sich stark an Ergebnissen der Schweizer EMPA (Gehrig et al., 2003). Diese Emissionsfaktoren sind in **Tab. 3.1** aufgezeigt.

Verkehrssituation	Tempolimit [km/h]	Anteil Konstant fahrt [%]	Stand anteil [%]	PM10-Auf/Ab [mg/km]		PM10-Auf/Ab [mg/km] (EMPA)	
				PKW inkl. LNF	SV	PKW inkl.LNF	SV
AB>120	-			22	200		
AB_120	120			22	200	47	74
AB_100	100			22	200	22	144
AB_80	80			22	200		
AB_60	60			22	200		
AB_StGo	-			22	200		
AO1	100	60	1	22	200		
AO2	100	53	1	22	200		
AO3	100	28	1	22	200		
IO_HVS>50	60	46	1	22	200	33	207
Tunnel AB_100	100			10	200		
Tunnel AB_80	80			10	200		
Tunnel AB_60	60			10	200		
Tunnel IO_HVS>50	60	46	1	10	200		
HVS1	50	46	1	22	200	33/17*	207/115*
HVS2	50	52	1	30	300		
HVS3	50	44	7	40	380	39	383
LSA1	50	44	7	40	380		
HVS4	50	37	14	50	450		
LSA2	50	32	20	60	600		
LSA3	50	28	26	90	800	92	819
IO_Kern	50	23	33	90	800		
IO_NS_dicht	50	32	5	90	800		

Tab. 3.1: Derzeit verwendete PM10-Emissionsfaktoren für Abriebe und Aufwirbelung differenziert nach Verkehrssituationen des HBEFA2.1. Zum Vergleich sind rechts die Emissionsfaktoren der EMPA (Gehrig et al., 2003) angegeben. (\*zwei Straßen mit HVS1 vermessen).

Die der Untersuchung Lohmeyer (2004a) zu Grunde gelegene Datenbasis ist in **Tab. 3.2** und **Tab. 3.3** aufgeführt. Dies betrifft sowohl Messungen an autobahnähnlichen Straßenabschnitten im Außerortsbereich, Messungen in Tunneln sowie an Straßenabschnitten im Innerortsbereich. Bzgl. der Beschreibung der Datensätze sei auf Lohmeyer (2004a) verwiesen.

Es sei darauf hingewiesen, dass die meisten Untersuchungen unter Verwendung der NO<sub>x</sub>-Tracermethode (Erläuterung siehe Abschnitt 3.6.1) auf Basis des HBEFA 2.1 durchgeführt worden sind. Aus den ermittelten PM10-Gesamtmissionen wurde durch Subtraktion der Hintergrundbelastung die verkehrsbedingte Zusatzbelastung berechnet. Mit dieser Zusatzbelastung wurden die PM10-Gesamtemissionsfaktoren (Auspuff- plus Aufwirbelung und Abriebemissionen) berechnet. Bei einigen Straßen wurde der PM10-Gesamtemissionsfaktor mittels Rückrechnung mit einem Ausbreitungsmodell bestimmt. Die Auswertungen der Messungen in den Tunneln erfolgten mittels Massebilanzrechnungen. Diese sind unabhängig von einem Tracerstoff.

Bei der Mehrheit der Datensätze wurde dann der nicht motorbedingte PM10-Anteil ermittelt, indem von den Gesamtemissionsfaktoren der Auspuffanteil subtrahiert worden ist. Dieser Auspuffanteil wurde ebenfalls mittels HBEFA2.1 berechnet.

## 3.2 Literaturlauswertung

Zunächst wurde anhand der Auswertung aktueller Literatur recherchiert, welche Berechnungsansätze derzeit für die nicht motorbedingten PM10-Emissionen verwendbar wären.

### 3.2.1 Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA)

Das Handbuch für Emissionsfaktoren beschäftigt sich auch in seiner neuesten Version 3.1 vom Januar 2010 nicht mit den nicht motorbedingten Emissionen.

### 3.2.2 Emissionsfaktoren nach Düring und Lohmeyer (2004)

Diese Emissionsfaktoren (siehe **Tab. 3.1**) basieren bzgl. Ihrer Auswertung sowie bzgl. ihrer Zuordnung zu den Verkehrssituationen noch auf HBEFA2.1 (2004). Deren Aktualisierung an HBEFA3.1 ist Ziel des vorliegenden Projektes.

Station	Qualitätsstufe	Messzeitraum	DTV [Kfz/24h]	LKW Anteil	Verkehrssituation
B10 Karlsruhe Süd	A	2003	75500	0.14	BAB_100g
B10 Karlsruhe Nord	A	2003	75500	0.14	BAB_100g
A5 Holzhausen	C	2001	60700	0.13	BAB>120
A5 Kenzingen	C	2001	56700	0.13	BAB>120
Lerchpfad	C	2000	177000	0.06	BAB80
A4 BASt	C	2002	72600	0.09	BAB>120
A4 Jena	C	2003	66000	0.15	BAB100
A1 Birrhardt	B	2001	66200	0.11	BAB120
A1 Humlikon	B	2001	40000	0.13	BAB100
Aathal	B	2001	26000	0.06	HVS>50
Holland/Drehtunnel	B-C	Mrz 99	75000	s.u.*	Tunnel/BAB100
Holland/Drehtunnel	B-C	Jul 97	k.A	s.u.*	Tunnel/BAB100
Berlin/Tunnel Tegel	B	1994	37000	0.06	Tunnel/BAB80
Berlin/Tunnel Tegel	B	Mai-Juni 1996	40000	0.07	Tunnel/BAB80
Kaisermühltunnel	B	Sept.-Okt. 02	50000	0.13	Tunnel/BAB80
Tunnel Tingstad	B-C	Nov 99	81600	0.10	Tunnel/BAB60g
Tauerntunnel	B	1997	19500	0.15	Tunnel/BAB60g
Brudermühltunnel	B	2001	50000	0.08	Tunnel/IO>50

Tab. 3.2: Datensätze aus der Untersuchung 2004 für Außerortsstraßen. Quelle: Lohmeyer (2004a). \*=PKW/LKW-Aufteilung aus den Fahrzeugflotten in einer Normal- und einer für den Schwerverkehr gesperrten Röhre, Qualitätsstufe A ist besser als C.

Station	Qualitätsklasse	Jahr	DTV [Kfz/24h]	LKW Anteil	Verkehrssituation
Zürich/Rosengartenstr.	B	Jan.-Mai 02	65000	0.058	HVS1_8%
Aathal	B	2001	26000	0.06	HVS>50
H./Göttinger Str.	A	2001	32000	0.080	HVS2/HVS4
Kop./Jagtvej	B	2001	26000	0.045	HVS2
Dresden/Bergstraße*	C	2003	18600	0.131	HVS4_6%
Zürich/Weststraße	B	Okt. 02-März 03	21000	0.061	LSA1
Aue/Bahnhofstr.	C	2000	10000	0.050	LSA1
Neuenl./Langemarckstr.	B	2000	42000	0.081	LSA2
R./Holbeinplatz	B	2000	52000	0.110	LSA2
Wittenb./Dessauer St.	C	2000	13700	0.140	LSA2
Görlitz/Zeppelinstr.	C	2000	21000	0.080	LSA2
Görlitz/Zeppelinstr.	C	2002	24900	0.049	LSA2
Kiel/Westring	B	2000	34000	0.035	LSA2
B./Schildhornstraße	B	2000	43200	0.056	LSA2
B./Schildhornstraße	B-C	Nov-Dez 2000	43200	0.056	LSA2
Stuttgart Mitte	B	2001	63300	0.023	LSA2
B./Frankfurter Allee	B	2000	62300	0.048	LSA2
B./Frankfurter Allee*	B	Jul.-Okt. 1999	62300	0.048	LSA2
B./Frankfurter Allee	C	1994/95	54000	0.040	LSA2
Cottbus/Bahnhofstr.	B	1998	23200	0.067	LSA2
Cottbus/Bahnhofstr.	B	1999	27100	0.056	LSA2
FF.Oder/Leipziger Str.	B	1998	34300	0.061	LSA2
P./H.-Thoma-Str.	B	1998	14700	0.046	LSA2
P./H.-Thoma-Str.	B	1999	15200	0.052	LSA2
Nbg./Am Pferdemarkt	B	2000	49500	0.100	LSA3
Nauen/Berliner Str.	B	2001	16200	0.067	LSA3
Zürich/Schimmelstr.	B	Jan-Mai 02	27700	0.069	LSA3
HH./Stresemannstr.	C	2001	25000	0.100	Tempo30
Nauen/Berliner Straße	B	1998	18600	0.074	LSA3_schlecht
Leipzig/Lützner Straße	B	2003	28900	0.042	LSA1_schlecht
Leipzig/Lützner Straße	B	11/03 -10/04	28300	0.045	LSA1_schlecht
Leipzig/Lützner Straße*	C	Okt.-Nov. 2000	26200	0.065	LSA1_schlecht

Tab. 3.3: Datensätze für Innerortsstraßen aus der Untersuchung 2004. Quelle: Lohmeyer (2004a). \*=Rückrechnung mittels Ausbreitungsmodell, sonst NO<sub>x</sub>-Tracermethode

### 3.2.3 Emissionsfaktoren nach Schneider et al. (2006)

Die AVISO GmbH leitete in Anlehnung an Gehrig et al. (2003) und Düring und Lohmeyer (2004) einen Berechnungsansatz zur Ermittlung der PM10-Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb ab (Schneider et al., 2006). Die danach ermittelten spezifischen Emissionsfaktoren sind in **Tab. 3.4** aufgeführt.

Es sei hierbei darauf hingewiesen, dass AVISO ihren Satz von PM10-Emissionsfaktoren auf Grundlage von Messungen nur an den drei Schweizer Messstellen abgeleitet hat. In die Ableitung durch Düring und Lohmeyer (2004) gingen (innerorts) Daten von 24 Messstellen ein. Für die Situation LSA2 wurden durch die AVISO GmbH keine Messdaten berücksichtigt. Gerade diese Situation kommt in Kreuzungsnähe häufig vor.

Die für die Festlegung der Emissionsfaktoren nach Ansatz AVISO wichtigen Wichtungen wurden auf Basis „verkehrstechnischer Überlegungen“ abgeleitet. Dieser Ansatz ist möglicherweise unsicher, weil nicht klar ist, ob sich die Emissionsfaktoren aus verschiedenen Verkehrssituationen linear überlagern. Die Emissionsfaktoren von Düring und Lohmeyer (2004) wurden aus der statistischen Auswertung der Messdaten für (tagesmittlere) Verkehrssituationen abgeleitet.

Der Ansatz von AVISO ist eher auf lange Straßenabschnitte ausgerichtet, d. h. wenn der Knotenpunktabstand groß ist. Häufig werden Verkehrssituationen eher lokal festgelegt, d. h. z. B. LSA 3 nur im Staubereich der Fahrzeuge, dann auf LSA1 oder HVS wechselnd.

Vergleicht man die Ansätze nach Düring und Lohmeyer (2004) mit denen von AVISO, dann sind die Emissionsfaktoren für HVS1 gleich. Für HVS2 $>$ 50 und HVS3 $>$ 50 sind in Düring und Lohmeyer (2004) keine Emissionsfaktoren angegeben. Für HVS2 und HVS3 sind sie bei AVISO etwas (ca. 10 %) höher als bei Düring und Lohmeyer (2004). Für die LSA, Kern und NS-Situationen sind die Emissionsfaktoren deutlich (mind. ca. 30 %) geringer als nach Düring und Lohmeyer (2004).

Es sei auch hier darauf hingewiesen, dass auch dieser Berechnungsansatz noch auf den Auswertungen und Zuordnungen des HBEFA2.1 basiert.

		Messstellen Aahrtal/ Rosengrt.str.	Messstelle Weststraße	Messstelle Schimmelstr.		
		Charakterisierung:				
		fließender innerörtlicher Verkehr im Abschnitt	stockender innerörtlicher Verkehr im Abschnitt	stockender innerörtlicher Verkehr an Kreuzung		
Haupt- verkehrs- situation	Störungsgrad (1 =gering, 2=mittel 3=groß)	abgeleitete Pkw / sNfz *	mittl. PM10-Emissionsfaktoren Pkw / sNfz	mittl. PM10-Emissionsfaktoren Pkw / sNfz	PM10-Emissionsfaktor Aufwirbelung und Abrieb	
		22 / 200 mg/(Fz*km)	40 / 380 mg/(Fz*km)	90 / 800 mg/(Fz*km)		
		Anteil an Gewichtung			Pkw/INfz	sNfz
					mg/(Fz*km)	
HVS>50	1	100%			22	200
	2	70%	30%		27	250
	3	30%	70%		35	330
HVS	1	100%			22	200
	2	50%	50%		31	290
	3		90%	10%	45	420
LSA	1	90%		10%	29	260
	2	40%	40%	20%	43	390
	3		60%	40%	60	550
NS	1	90%		10%	29	260
	2	40%	40%	20%	43	390
	3		40%	60%	70	630
KERN	1	80%	10%	10%	31	280
	2	40%	40%	20%	43	390
	3		40%	60%	70	630
Stop&Go				100%	90	800

\* Werte analog Außerorts-PM10-Emissionsfaktoren

Tab. 3.4: PM10-Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb differenziert nach Verkehrssituationen entsprechend Schneider et al. (2006)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hauptverkehrssituationen:

HVS>50 = vorfahrtsberechtigte Hauptverkehrsstraße mit Tempolimit > 50 km/h innerorts,

HVS = vorfahrtsberechtigte Hauptverkehrsstraße innerorts,

LSA = lichtsignalgeregelte Hauptverkehrsstraße innerorts,

NS = Nebenstraße innerorts,

KERN = Innerortsstraßen im Stadtkern

### 3.2.4 Ergebnisse des Schweizer APART-Projektes (2009)

Mit dem Projekt „PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Straßenverkehrs (APART“ - Bukowiecki et al., 2009) wurden die Untersuchungen von Gehrig et al. (2003) fortgeführt. Das Hauptziel des Projekts APART war es, nicht auspuffbedingte PM10-Emissionen des Straßenverkehrs für typische Verkehrssituationen zu identifizieren und zu quantifizieren. Folgende wesentliche Ergebnisse wurden von den Autoren beschrieben:

Mit der statistischen Analyse der Immissionsdaten konnten Beiträge von Reifenabrieb oder Belagsabrieb mangels spezifischer Leitelemente nicht separat quantifiziert werden. Zu diesen Prozessen lassen sich folgende Aussagen machen:

- **Fahrbahnbelagsabrieb und Aufwirbelung:** Gezielte Experimente mit Verkehrslastsimulatoren (Versuchsstand) zeigten, dass Partikelemissionen aus direktem Abrieb von intakten Straßenbelägen von untergeordneter Bedeutung sind. Hingegen können von schadhafte Belägen erhebliche Abriebsemissionen ausgehen.
- **Reifenabrieb:** Über Emissionen von Reifenabrieb gibt es bis heute kaum zuverlässige Untersuchungen. Ältere Untersuchungen, die teilweise von bis zu 10 % Reifenabrieb im PM10 berichten, wurden mit aus heutiger Sicht unzulänglichen methodischen Konzepten durchgeführt. Eine Studie an zwei innerstädtischen Strassen in Wiesbaden (Deutschland) verwendet erstmals eine sehr spezifische Methode (Analyse von Latex-Pyrolyseprodukten) und findet im Mittel einen Anteil des Reifenabriebs im PM10 von 0.5 %. In derselben Studie wird auch gezeigt, dass die früher vermuteten bis zu 10 % Reifenabrieb durchaus vorhanden sind, jedoch in gröberen Partikelfraktionen ( $>10 \mu\text{m}$ ). Dies wird qualitativ auch durch mikroskopische Aufnahmen bestätigt. Aus den Untersuchungen in APART mit den Verkehrslastsimulatoren ergeben sich ebenfalls keine Hinweise auf namhafte Beiträge aus Reifenabrieb.

Die aus den Messdaten mittels  $\text{NO}_x$ -Tracermethode zusammen mit der PMF-Methode (Positive Matrix Factorisation) abgeleiteten Emissionsfaktoren sind für die **Weststraße in Zürich** in **Tab. 3.5** dargestellt. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Auswertungen ebenfalls auf Basis des HBEFA2.1 durchgeführt worden sind.

Quelle	Quantifizierung der Quelle	Berechnung Emissionsfaktor	Zürich-Weststrasse		
			Flotte 10% SMW <sup>*1</sup> mg/km/Fz	LMW <sup>*2</sup> mg/km/Fz	SMW <sup>*2</sup> mg/km/Fz
Verkehrsbedingtes PM10	Gemessen (PM10 – Differenz: Strasse – Hintergrund)	Abgeschätzt aus Massenbilanzierung	71	24 ± 8	498 ± 86
Bremsabrieb	Statistisches Modell <sup>*3</sup>	Multilineare Regression	15	8 ± 4	81 ± 39
Auspuff (Totale verkehrsbedingte Kohlenstoffverbindungen)	Statistisches Modell <sup>*3</sup>	Multilineare Regression	29	15 ± 6	155 ± 67
Aufwirbelung von Strassenstaub	Statistisches Modell <sup>*3</sup>	Abgeschätzt aus Massenbilanzierung	27	1 ± 11	262 ± 115
Strassenbelagsabrieb			-	(<3) <sup>*4,d</sup>	(7) <sup>*4</sup> (80 <sup>*b</sup> )
Aufwirbelung <sup>*d</sup>	Experiment mit Verkehrslastsimulatoren		-	(5) <sup>*d</sup> (76) <sup>*a</sup>	(110) <sup>*c</sup> (660 <sup>*b</sup> )

<sup>\*1</sup> Mittlerer Schwerverkehrsanteil während der ganzen Messkampagne im Februar/März 2007 (starke Schwankungen im Tagesverlauf)

<sup>\*2</sup> Multilineares Modell mit individueller Berücksichtigung der stündlichen Verkehrszusammensetzung

<sup>\*3</sup> PMF (Positive Matrix Factorization)

<sup>\*4</sup> Neuer Betonasphalt

<sup>\*b</sup> Betonasphalt in schlechtem Zustand

<sup>\*c</sup> Betonasphalt in gutem Zustand

<sup>\*d</sup> Neuer poröser Asphalt

Tab. 3.5: PM10-Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs für die Verkehrssituation Zürich-Weststrasse (städtische Straßenschlucht, Innerorts-Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlage und starken Störungen des Verkehrsflusses (Kategorie IO\_HVS3 nach Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA2.1, Fahrbahnbelag = Asphaltbeton AB12, Einbaujahr 1995/96. Kein Durchgangsverkehr zwischen 22:00 und 06:00 Uhr.) LMW: Leichte Motorfahrzeuge inkl. 9% Lieferwagen, SMW: Schwere Motorfahrzeuge inkl. Reisebusse. Quelle: Bukowiecki et al. (2009)

Nach Ansicht der Autoren zeigte sich, dass der durchschnittliche PM10-Emissionsfaktor für die Flottenemission (bezogen auf einen Schwerverkehrsanteil von 10 %) von den Auspuffemissionen dominiert (41 %) wurde, gefolgt von fahrzeugverursachter Aufwirbelung von Straßenstaub (38 %) und Bremsabrieb (21 %).

Auspuffpartikel (63 %) und Bremsabrieb (33 %) waren die dominanten PM10-Emissionsquellen für leichte Motorfahrzeuge. Demgegenüber waren an der Weststraße die Emissionen durch Aufwirbelung für leichte Motorfahrzeuge nur gering (<5 %). Im Vergleich zu den leichten Motorfahrzeugen waren die absoluten PM10-Emissionsfaktoren der schweren Motor-

fahrzeuge etwa 15-mal höher, die Emissionsfaktoren für Bremsabrieb und Auspuffemissionen etwa 10-mal höher. Im Gegensatz zu den leichten Motorfahrzeugen war der Beitrag der schweren Fahrzeuge zur Aufwirbelung bedeutend. Für Zürich-Weststraße waren 53 % der PM10-Emissionen der schweren Motorfahrzeuge der Aufwirbelung zuzuordnen. Der Beitrag der Auspuffemissionen lag bei 31 %, von Bremsabrieb bei 16 %. In der stark befahrenen Weststrasse scheint der verfügbare Straßenstaub demnach größtenteils durch die von den schweren Motorfahrzeugen induzierten Turbulenzen in Schwebelage gehalten zu werden, so dass die leichten Fahrzeuge nur wenig dazu beitragen. Dies heißt allerdings nicht, dass leichte Motorfahrzeuge kein Potential für Aufwirbelung hätten, was durch die Experimente mit den Verkehrslastsimulatoren deutlich gezeigt werden konnte.

Eine weitere detaillierte Messung wurde an der **A2 bei Reiden** durchgeführt. Die A2 ist eine Autobahn mit flüssigem Verkehr, Tempolimit 120 km/h (Kategorie AB\_120 nach Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA2.1). Der Fahrbahnbelag war ein Splitt-Mastixbelag (kompakter Belag mit wenig Hohlräumen, vergleichbar mit Asphaltbeton) Einbaujahr: 1999.

Die berechneten PM10-Emissionsfaktoren in Reiden (**Tab. 3.6**) zeigen entsprechend der Aussagen der Autoren folgende Charakteristiken:

Der durchschnittliche PM10-Emissionsfaktor (15 % Schwerverkehrsanteil) setzte sich aus 41 % Auspuffemissionen und einem mit rund 3 % sehr kleinen Bremsabriebanteil zusammen. Die verbleibenden 56 % der verkehrsbedingten Emissionen konnten keiner spezifischen Quelle zugeordnet werden. Es handelt sich dabei aber sehr wahrscheinlich hauptsächlich um aufgewirbelten Straßenstaub (und kleinere Beiträge von Reifen- und Straßenabrieb).

Der totale PM10-Emissionsfaktor für schwere Motorfahrzeuge war 5.8-mal höher als der entsprechende Wert für leichte Motorfahrzeuge. Da die Massenbeiträge von Bremsabrieb und verkehrsbedingtem Kohlenstoff als aus der gleichen, vom PMF-Modell identifizierten Verkehrsquelle interpoliert wurden, sind die Quellenanteile für leichte und schwere Fahrzeuge praktisch identisch. Eine alternative Berechnung der fahrzeugtypspezifischen Quellenanteile direkt aus den gemessenen Konzentrationsdifferenzen einzelner Elemente war statistisch zu unsicher. Anders als in Zürich-Weststrasse wird in Reiden der aufgewirbelte Staub laufend seitlich wegtransportiert (Lee-Luv-Konzept) und wird nicht wie in einer Straßenschlucht durch

wenige Fahrzeuge und hohe Turbulenz (SMW) in Schwebelage gehalten. Deshalb entfällt hier auch auf die LMW ein Teil der Aufwirbelung.

Es sei auch hier darauf hingewiesen, dass diese Auswertungen ebenfalls auf Basis des HBEFA2.1 durchgeführt worden sind.

Quelle	Quantifizierung der Quelle	Berechnung Emissionsfaktor	Reiden (LU) A2		
			Flotte 15% SMW <sup>*1</sup> mg/km/Fz	LMW <sup>*2</sup> mg/km/Fz	SMW <sup>*2</sup> mg/km/Fz
Verkehrsbedingtes PM10	Gemessen (PM10 – Differenz: Lee – Luv)	multilineare Regression	86	50.0 ± 13	288 ± 72
Bremsabrieb	statistisches Modell <sup>*3</sup>	multilineare Regression	3	1.6 ± 1.1	9 ± 7
Auspuff (Totale verkehrsbedingte Kohlenstoffverbindungen)	statistisches Modell <sup>*3</sup>	multilineare Regression	35	20.4 ± 7	119 ± 38
Rest (Aufwirbelung und kleinere Quellen <sup>*4</sup> )	abgeschätzt aus Massenbilanz		48	28 ± 14	160 ± 82

<sup>\*1</sup> Mittlerer Schwerverkehrsanteil im Oktober/November 2007 (starke Schwankungen im Tagesverlauf)

<sup>\*2</sup> Multilineares Modell mit individueller Berücksichtigung der stündlichen Verkehrszusammensetzung

<sup>\*3</sup> PMF (positive matrix factorization)

<sup>\*4</sup> Reifen- und Strassenabrieb

Tab. 3.6: PM10-Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs für die A 2 bei Reiden (Autobahn). LMW: Leichte Motorfahrzeuge inkl. 15% Lieferwagen, SMW: Schwere Motorfahrzeuge inkl. Reisebusse. Quelle: Bukowiecki et al. (2009).

Bukowiecki et al. (2009) verglichen die Ergebnisse in der Weststraße mit denen in Reiden sowie auch mit Ergebnissen aus früheren Schweizer Studien. Eine zusammenfassende Darstellung liefert die **Tab. 3.7**. Die Autoren führen dazu Folgendes aus:

Der totale PM10-Flottenemissionsfaktor für Reiden (15 % schwere Fahrzeuge, flüssiger Verkehr) war 20 % höher als für Zürich-Weststrasse (10 % schwere Fahrzeuge, stark gestörter Verkehrsfluss). Ursache sind höhere Auspuffemissionen und größere Beiträge aus der Aufwirbelung von Straßenstaub.

Im Gegensatz dazu waren die Emissionsfaktoren für Bremsabrieb in Reiden 5-mal geringer verglichen mit Zürich-Weststrasse. Erwartungsgemäß zeigt sich hier der Einfluss der stark unterschiedlichen Bremsaktivitäten an den beiden Messstellen.

Parameter	Untersuchung	Ort	Bezugsjahr	Flotte (mg km <sup>-1</sup> )	LMW (mg km <sup>-1</sup> )	SMW (mg km <sup>-1</sup> )
PM10	NFP41 <sup>*1</sup>	Zürich-Schimmelstrasse	1998/99	153	59	1420
	BUWAL/ASTRA 2003 <sup>*2</sup>	Zürich-Weststrasse	2002/03	104	49	703
	APART	Zürich-Weststrasse	2007	71	23.7 ± 7.5	498 ± 86
Auspuff-emissionen	NFP41 <sup>*1</sup>	Zürich-Schimmelstrasse	1998/99	48	14	507
	BUWAL/ASTRA 2003 <sup>*2</sup>	Zürich-Weststrasse	2002/03	29	10	320
	HBEFA <sup>*3</sup>	IO_HVS3 <sup>*4</sup>	2002/03	-	11	342
	APART	Zürich-Weststrasse	2007	29	14.9 ± 6.3	155 ± 67
	HBEFA <sup>*3</sup>	IO_HVS3 <sup>*4</sup>	2007	-	12	286
Nicht auspuffbedingte Emissionen (inkl. Aufwirbelung)	NFP41 <sup>*1</sup>	Zürich-Schimmelstrasse	1998/99	105	45	913
	BUWAL/ASTRA 2003 <sup>*2</sup>	Zürich-Weststrasse	2002/03	75	39	383
	APART	Zürich-Weststrasse	2007	42	9 ± 11	343 ± 122

Parameter	Untersuchung	Ort	Bezugsjahr	Flotte (mg km <sup>-1</sup> )	LMW (mg km <sup>-1</sup> )	SMW (mg km <sup>-1</sup> )
PM10	BUWAL/ASTRA 2003 <sup>*2</sup>	Birrhard	2003	83	63	267
	APART	Reiden	2007	86	50.0 ± 12.6	288.0 ± 71.9
Auspuff-emissionen	BUWAL/ASTRA 2003 <sup>*2</sup>	Birrhard	2003	33	16	193
	HBEFA <sup>*3</sup>	AB_120 <sup>*5</sup>	2002/03	-	17	176
	APART	Reiden	2007	35	20.4 ± 6.6	119 ± 38
Nicht auspuffbedingte Emissionen (inkl. Aufwirbelung)	BUWAL/ASTRA 2003 <sup>*2</sup>	Birrhard	2003	50	47	74
	APART	Reiden	2007	51	30 ± 14	169 ± 82

<sup>\*1</sup> Hüglin, C. (2000). Anteil des Strassenverkehrs an den PM10- und PM2.5-Immissionen; Chemische Zusammensetzung des Feinstaubes und Quellenzuordnung mit einem Rezeptormodell, Nationales Forschungsprogramm NFP41 Verkehr und Umwelt, Bericht C4, Bern.

<sup>\*2</sup> Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Forschungsauftrag ASTRA/BUWAL 2000/415(52/00), Bern.

<sup>\*3</sup> Basierend auf: Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (<http://www.hbefa.net>), Version 2.1 / 2004, INFRAS im Auftrag BUWAL, Bern.

<sup>\*4</sup> IO\_HVS3: Städtische Hauptverkehrsstrasse mit Lichtsignalanlage, stark gestörter Verkehrsfluss.

<sup>\*5</sup> Autobahn mit flüssigem Verkehr bei 120 km h<sup>-1</sup>.

Tab. 3.7: Emissionsfaktoren für Auspuff- und nicht auspuffbedingte PM10-Emissionen aus Untersuchungen in Zürich-Weststrasse, Zürich-Schimmelstrasse (stark verkehrsbelastete Strasse, 300 m von Zürich-Weststrasse), Reiden (LU, Nationalstrasse A 2) und Birrhard (AG, Nationalstrasse A 1). Generell ist zu bemerken, dass bei der Aufteilung der Flottenemissionsfaktoren auf leichte und schwere Motorfahrzeuge mit grösseren Unsicherheiten zu rechnen ist. Quelle: Bukowiecki et al. (2009).

Bei Zürich-Weststrasse wird im zeitlichen Trend ein sinkender Trend der PM10-Emissionsfaktoren der Verkehrsflotte beobachtet. Dagegen sind die PM10-Emissionsfaktoren in Reiden verglichen mit Birrhard (2004, gleiche Verkehrssituation) etwa gleich geblieben. Die abgeschätzten Werte für Auspuffemissionen sind unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten konsistent mit den Werten des HBEFA2.1. Nicht auspuffbedingte Emissionen und totale verkehrsbedingte PM10-Emissionsfaktoren hängen sehr stark von der fahrzeugverursachten Aufwirbelung zum Zeitpunkt der Untersuchung ab. Unterschiede bei diesen Faktoren reflektieren deshalb eher die lokal herrschenden Bedingungen an den Messorten (Verschmutzung der Strasse, Zustand des Belags) als einen zeitlichen Emissionstrend.

### 3.2.5 Emissionsfaktoren nach CORINAIR

Im Emission Inventory Guidebook von EMEP/CORINAIR (Stand 2007) werden PM<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren für Abriebe angegeben. Diese basieren auf der Empfehlung einer Arbeitsgruppe, welche anhand von Literaturlauswertungen aus dem Jahr 2003 Methoden für deren Berechnung erarbeitet hat. Eine Differenzierung in die verschiedenen Verkehrssituationen ist durch eine dort angegebene Abhängigkeit von der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit (für Reifen und Bremsabrieb) möglich.

Für die Berücksichtigung von *Reifenabrieb* wird von den Autoren Folgendes vorgeschlagen:

$$EF_{\text{Reifen}} [\text{mg}/(\text{Fzg} \cdot \text{km})] = f_{\text{Reifen}} EF_{\text{TSPReifen}} S_{\text{Reifen}}(v) \quad (3.1)$$

$f_{\text{Reifen}}$  = Anteil der Partikelfraktion an TSP  
 $EF_{\text{TSPReifen}}$  = TSP-Emissionsfaktor Reifenabrieb bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h  
 $S_{\text{Reifen}}(v)$  = Geschwindigkeitskorrekturfaktor, welcher von der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt

mit

$$\begin{aligned} v < 40 \text{ km/h:} & \quad S_{\text{Reifen}}(v) = 1.39 \\ 40 \text{ km/h} \leq v \leq 90 \text{ km/h:} & \quad S_{\text{Reifen}}(v) = -0.00974 \cdot v + 1.78 \\ v > 90 \text{ km/h:} & \quad S_{\text{Reifen}}(v) = 0.902 \end{aligned}$$

Für  $EF_{\text{TSPReifen}}$  werden in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse folgende Größen vorgeschlagen:

<b>Reifenabrieb</b>	$EF_{\text{TSPReifen}} [\text{mg}/\text{km}]$
PKW:	10.7

Leichte Nutzfahrzeuge:	16.9
Schwere Nutzfahrzeuge:	45.0*
Motorräder:	4.6

\*(falls Anzahl der Achsen und Beladungsgrad nicht bekannt sind, sonst

$$EF_{\text{TSPReifen}}(\text{LKW}) = \text{Anzahl Achsen} \cdot \text{LCF} \cdot EF_{\text{TSPReifen}}(\text{PKW})/2;$$

$$\text{LCF} = 1.38 \cdot \text{Beladungsgrad} + 1.41).$$

Wesentliche Festlegungen bei der Ableitung der Emissionen waren neben den aus der Literatur zusammengefassten Emissionsfaktoren für Gesamtstaub (TSP), Gesamtabrieb bzw. PM10 z. B. ein 10 %er Anteil PM10 am Gesamtreifenabrieb sowie ein 60 %er Anteil PM10 an TSP-Reifenabrieb. Die Ableitung für die Geschwindigkeits- bzw. für die Beladungskorrektur wurde nicht erläutert.

Die Parameter für die Partikelgrößen werden unabhängig von der Fahrzeugklasse wie folgt festgelegt:

TSP	:	$f_{\text{Reifen}} = 1.000$
PM10	:	$f_{\text{Reifen}} = 0.600$
PM2.5	:	$f_{\text{Reifen}} = 0.420$
PM1	:	$f_{\text{Reifen}} = 0.060$
PM0.1	:	$f_{\text{Reifen}} = 0.048$

Die **Abb. 3.1** zeigt beispielhaft die PM10-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit. Es ist festzustellen, dass bei niedrigen Fahrzeuggeschwindigkeiten, wie sie z. B. im Stadtverkehr gefahren werden, höhere Reifenabriebsemissionen angesetzt werden als bei höheren (z. B. bei Tempo 30 ca. 36 % mehr als bei Tempo 80). Wahrscheinlich werden hier nicht reine Geschwindigkeitsabhängigkeiten im Sinne von Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit als Basis verwendet sondern die Bedingungen bei verschiedenen Verkehrszuständen. Dies wurde wie erwähnt allerdings nicht erläutert.

### Correlation between emission factors and mean trip speed

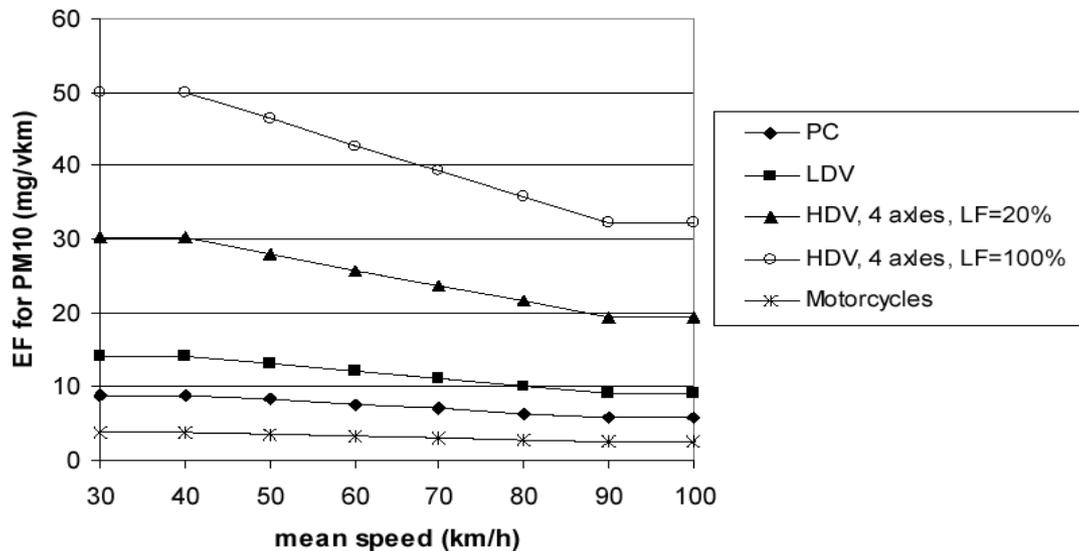


Abb. 3.1: Abhängigkeit der PM10-Emissionsfaktoren infolge *Reifenabrieb* von den Fahrzeuggeschwindigkeiten für die Fahrzeugklassen PKW (PC), leichte Nutzfahrzeuge (LDV), Schwerverkehr (HDV) mit 20 % bzw. 100 % Beladung (LF) sowie Motorräder. (Quelle: CORINAIR, 2007)

Für die Berücksichtigung von *Bremsabrieb* wird von den Autoren folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

$$EF_{\text{Brems}} [\text{mg}/(\text{Fzg} \cdot \text{km})] = f_{\text{Brems}} EF_{\text{TSPBrems}} S_{\text{Brems}}(v) \quad (3.2)$$

$f_{\text{Brems}}$  = Anteil der Partikelfraktion an TSP

$EF_{\text{TSPBrems}}$  = TSP-Emissionsfaktor Bremsabrieb bei einer Geschwindigkeit von 65 km/h

$S_{\text{Brems}}(v)$  = Geschwindigkeitskorrekturfaktor, welcher von der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt.

mit

$$v < 40 \text{ km/h:} \quad S_{\text{Brems}}(v) = 1.67$$

$$40 \text{ km/h} \leq v \leq 95 \text{ km/h:} \quad S_{\text{Brems}}(v) = -0.027 \cdot v + 2.75$$

$$v > 95 \text{ km/h:} \quad S_{\text{Brems}}(v) = 0.185$$

Für  $EF_{\text{TSPBrems}}$  werden in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse folgende Größen vorgeschlagen:

<b>Bremsabrieb</b>	$EF_{TSPBrems}$ [mg/km]
PKW:	7.5
Leichte Nutzfahrzeuge:	11.7
Schwere Nutzfahrzeuge:	32.7*
Motorräder:	3.7

\*(falls Beladungsgrad nicht bekannt ist, sonst

$EF_{TSPBrems}(\text{LKW}) = 3.13 \cdot \text{LCF} \cdot EF_{TSPBrems}(\text{PKW})$ ;

$\text{LCF} = 0.79 \cdot \text{Beladungsgrad} + 1.0$ )

Die Parameter für die Partikelgrößen werden unabhängig von der Fahrzeugklasse wie folgt festgelegt:

TSP	:	$f_{Brems} = 1.00$
PM10	:	$f_{Brems} = 0.98$
PM2.5	:	$f_{Brems} = 0.39$
PM1	:	$f_{Brems} = 0.10$
PM0.1	:	$f_{Brems} = 0.08$

Die **Abb. 3.2** zeigt beispielhaft die PM10-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit.

Wesentliche Festlegungen bei der Ableitung dieser Emissionsfaktoren waren neben den aus der Literatur zusammengefassten Emissionsfaktoren für TSP, Gesamtabrieb bzw. PM10 z. B. ein Anteil PM10 von 50 % am Gesamtabrieb sowie ein Anteil PM10 an TSP-Bremsabrieb von 98 %. Die Ableitung für die Geschwindigkeits- bzw. für die Beladungskorrektur wurde hier ebenfalls nicht erläutert.

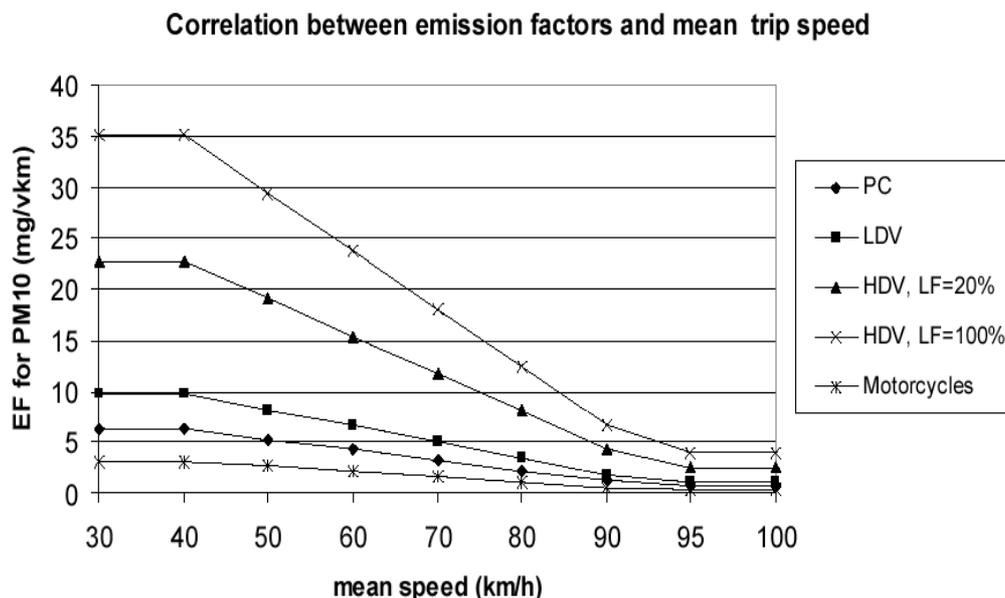


Abb. 3.2: Abhängigkeit der PM10-Emissionsfaktoren infolge *Bremsabrieb* von den Fahrzeuggeschwindigkeiten für die Fahrzeugklassen PKW (PC), leichte Nutzfahrzeuge (LDV), Schwerverkehr (HDV) mit 20 % bzw. 100 % Beladung (LF) sowie Motorräder (Quelle: CORINAIR, 2007)

Für den Straßenabrieb lagen nach Angabe der Autoren nur sehr wenig Informationen vor. Hier wird auf die Arbeiten von Lükewille et al. (2002) verwiesen. Für  $EF_{TSP_{\text{Straße}}}$  werden in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse folgende Größen vorgeschlagen:

<b>Straßenabrieb</b>	$EF_{TSP_{\text{Straße}}}$ [mg/km]
PKW:	15.0
Leichte Nutzfahrzeuge:	15.0
Schwere Nutzfahrzeuge:	76.0
Motorräder:	6.0

Auf Grundlage des in **Abb. 3.1** und **Abb. 3.2** dargestellten Geschwindigkeitseinflusses und der in HBEFA3.1 zur Beschreibung der Verkehrssituationen enthaltenen Angaben zur mittleren Reisegeschwindigkeit können die Emissionsfaktoren den Verkehrssituationen des HBEFA3.1 zugeordnet werden.

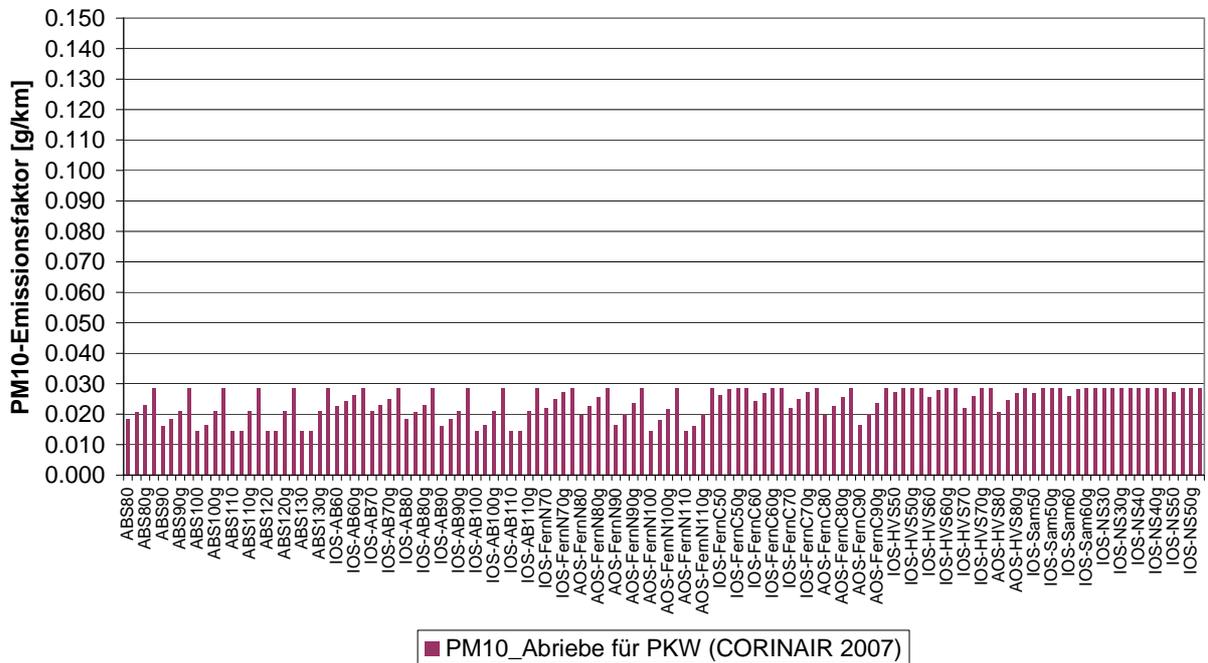
Für den Schwerverkehr sind die PM10-Emissionen auch von der Achszahl und dem Beladungsgrad abhängig. Der Beladungsgrad wird entsprechend HBEFA3.1 zu 0.5 (entspricht 50 %) angesetzt.

Die mittlere Achszahl der Schwerverkehrsfahrzeuge wird ebenfalls auf Basis des HBEFA berechnet. Dazu werden die Fahrleistungsanteile der Größenklassen auf Autobahn, Außerorts- und Innerortsstraßen verwendet. Die Achszahlen der Linien- und Reisebusse werden dabei direkt ausgewiesen. Die Achszahlen der LKW und Sattelzüge werden auf Basis des zulässigen Gesamtgewichts und der in der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung vorgeschriebenen Mindestachszahl abgeschätzt (siehe dazu auch Lohmeyer, 2010a). Dort werden aus dem Mittelwert der Verteilung für die Berechnung mittels CORINAIR (2007) deshalb für die Autobahnen und Außerortsstraßen 5 Achsen sowie für die Innerortsstraßen 3 Achsen unabhängig vom Bezugsjahr festgelegt.

Der Kupplungsanteil an den Emissionen wird hier zu Null gesetzt, weil er weitestgehend in den Kupplungsgehäusen zurückgehalten wird und keinen relevanten Anteil zur PM<sub>x</sub>-Emission liefert. Es wird auch hier von den Autoren darauf verwiesen, dass insbesondere die Emissionsfaktoren für Straßenabrieb wegen fehlender systematischer Untersuchungen mit sehr großen Unsicherheiten bewertet worden sind.

Die Emissionsfaktoren nach CORINAIR (2007) sind als Summe aller Abriebe (Reifen, Bremsen und Straße) in **Abb. 3.3** dargestellt. Für die PKW variieren die Emissionsfaktoren zwischen 15 und 29 mg/km, wobei die höchsten Emissionsfaktoren bei Tempolimits kleiner/gleich 50 km/h bzw. bei höheren Tempolimits bei Stop&Go-Verkehrssituationen angegeben werden. Für den SV variieren die Emissionsfaktoren zwischen 75 und 138 mg/km. Die Abhängigkeit von den Verkehrssituationen ist hier ähnlich wie bei den PKW.

**PKW Innerorts**



**SV Innerorts**

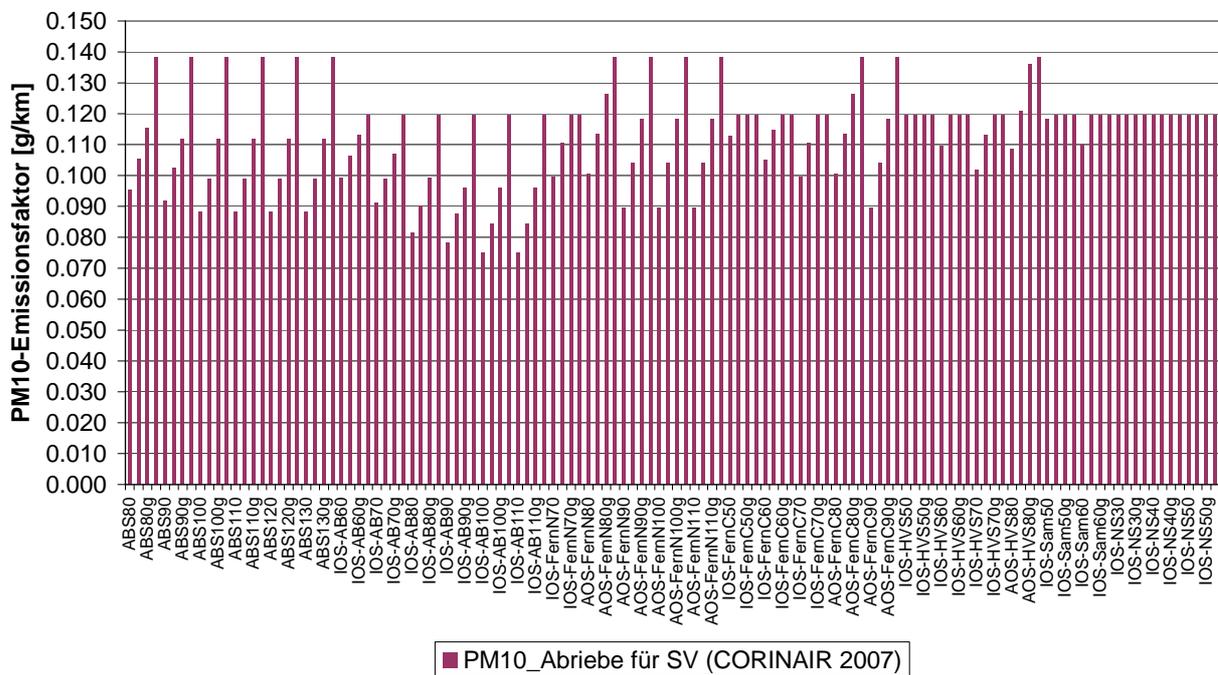


Abb. 3.3: PM10-Abriebsemissionsfaktoren nach CORINAIR (2007) für PKW (oben) und Schwerverkehr (unten) für Innerortsverkehrssituationen. Erläuterungen siehe Text.

### 3.2.6 Modell der US-EPA

Die Serie "Compilation of Air Pollutant Emission Factors", AP-42 enthält Emissionsfaktoren für die unterschiedlichsten Luftschadstoffquellen. Sie wird laufend vervollständigt, die jeweils neueste Fassung ist zu finden in <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch13/>.

Dort ist ein Emissionsmodell gegeben für unbefestigte Straßen (wird im Folgenden nicht mehr weiter betrachtet) und eines für befestigte Straßen. Es wurde 1984 veröffentlicht und seit dem mehrfach fortgeschrieben.

Das Modell geht in der aktuellen Version vom Januar 2011 davon aus, dass sich die Emission in folgender Form beschreiben lässt:

$$e = k (sL)^{0.91} \cdot (W)^{1.02} \cdot (1-P/4N) \quad (3.3)$$

$e$  [g/(km · Kfz)] =  $PM_x$ -Emissionsfaktor (nur Staubaufwirbelung)

$k$  [g/km · Kfz] = Partikelgrößenfaktor

$sL$  [g/m<sup>2</sup>] = silt Load =  $PM_{75}$ -Staubbelegung der Straße

$W$  [to] = Mittleres Fahrzeuggewicht der Flotte (Achtung: Formel darf nicht separat für z. B. SV und LV verwendet werden)

$P$  = Anzahl von Tagen mit Niederschlagssumme von mehr als 0.254 mm während der Mittelungszeit

$N$  = Anzahl von Tagen innerhalb der Mittelungsperiode.

Neben der o. a. Regenkorrektur mit Tagesbezug gibt es auch eine, welche auf Stundenbezug anwendbar ist. Diese lautet  $(1-1.2 P/N)$ . Hierbei ist  $N$  die Anzahl von Stunden im Mittelungszeitraum und  $P$  die Anzahl von Stunden mit o. g. Niederschlagssumme.

Die o. g. Formel enthält, wie beschrieben, abweichend von den bisherigen Ansätzen nur die Partikelemissionen infolge Wiederaufwirbelung von Straßenstaub. Für die Bestimmung der Abgasemissionen sowie Brems- und Reifenabriebe wird auf das US-Amerikanische Emissionsfaktorenmodell MOVES verwiesen. Kupplungs- und Straßenabrieb werden nicht thematisiert.

Die Partikelgrößenfaktoren  $k$  werden entsprechend der **Tab. 3.8** angegeben.

Size range <sup>a</sup>	Particle Size Multiplier k <sup>b</sup>		
	g/VKT	g/VMT	lb/VMT
PM-2.5 <sup>c</sup>	0.15	0.25	0.00054
PM-10	0.62	1.00	0.0022
PM-15	0.77	1.23	0.0027
PM-30 <sup>d</sup>	3.23	5.24	0.011

<sup>a</sup> Refers to airborne particulate matter (PM-x) with an aerodynamic diameter equal to or less than x micrometers.

<sup>b</sup> Units shown are grams per vehicle kilometer traveled (g/VKT), grams per vehicle mile traveled (g/VMT), and pounds per vehicle mile traveled (lb/VMT). The multiplier k includes unit conversions to produce emission factors in the units shown for the indicated size range from the mixed units required in Equation 1.

<sup>c</sup> The k-factors for PM<sub>2.5</sub> were based on the average PM<sub>2.5</sub>:PM<sub>10</sub> ratio of test runs in Reference 30.

<sup>d</sup> PM-30 is sometimes termed "suspendable particulate" (SP) and is often used as a surrogate for TSP.

Tab. 3.8: Partikelgrößenfaktoren für befestigte Straßen aus US-EPA (2011)

Als Maß für die Staubbeladung der Straßen empfiehlt die US-EPA Messungen des Silt-Loads vor Ort durchzuführen. Sollte keine Messung vorliegen, dann können Standardwerte entsprechend **Tab. 3.9** verwendet werden. Die Genauigkeit der Emissionsfaktoren sinkt dabei allerdings sehr stark ab.

ADT Category	< 500	500-5,000	5,000-10,000	> 10,000
Ubiquitous Baseline g/m <sup>2</sup>	0.6	0.2	0.06	0.03 0.015 limited access
Ubiquitous Winter Baseline Multiplier during months with frozen precipitation	X4	X3	X2	X1
Initial peak additive contribution from application of antiskid abrasive (g/m <sup>2</sup> )	2	2	2	2
Days to return to baseline conditions (assume linear decay)	7	3	1	0.5

Tab. 3.9: Werte für Silt-Load in g/m<sup>2</sup> entsprechend US-EPA (2011). ADT = Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke.

In **Tab. 3.10** sind PM10-Emissionsfaktoren infolge Staubaufwirbelung bei einem mittleren Flottengewicht von 2 t (entspricht einer Flotte mit ca. 10 % SV-Anteil) und 140 Regentagen aufgetragen.

<b>DTV [Fzg/24h]</b>	<b>Staubbelastung der Straße [g/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Staubaufwirbelung [g/(Kfz km)]</b>
>10 000	0.03	0.047
5 000 bis 10 000	0.06	0.088
500 bis 5 000	0.20	0.263
< 500	0.60	0.714

Tab. 3.10: PM10-Emissionsfaktoren infolge Staubaufwirbelung für eine Fahrzeugflotte mit mittlerem Fahrzeuggewicht von 2 t und bei 140 Tagen mit Niederschlagssummen größer 0.3 mm entsprechend US-EPA (2011)

Mit den angeführten Erweiterungen bzgl. Regenkorrektur und Separation der Aufwirbelungsemissionen schlägt die US-EPA den Weg ein, eine Separation zwischen Motoremissionen, Abrieben und Aufwirbelungen durchzuführen. Die generellen Kritiken und Probleme bzgl. deren physikalischer Grundlagen (siehe auch Lohmeyer, 2001 und 2004; Venkatram, 2000; Fitz, 2001) bleiben damit jedoch unbeeinflusst. Dies betrifft insbesondere den Zweifel daran, dass für die PM10-Emission die PM75-Staubbelastung der Straße ein „primärer“ Parameter für die PM10-Emission darstellen kann.

### 3.2.7 Richtlinie VDI 3790 Blatt 3 (2010)

Diese Richtlinie befasst sich mit PM10-Emissionen von befestigten und unbefestigten Fahrwegen. Hier wird bzgl. der befestigten Straßen auf die US-EPA (2006) verwiesen. Auch hier werden die großen Unsicherheiten thematisiert.

### 3.2.8 Vorgehen in weiteren Ländern

Das „Swedish Meteorological and Hydrological Institute“ in Norrköping entwickelte das Emissions- und Ausbreitungsmodell SIMAIR road (Gidhagen et al., 2008). Für die nicht motorbedingten Partikelemissionen wird ein semi-empirisches Emissionsmodell (Omstedt et al., 2005) verwendet. Dieses berechnet auf Basis von Quellstärken der Resuspension, welche abhängig von der Feuchte des Straßenstaubes sowie vom Staubpotenzial auf der Straße sind (müssen jeweils bekannt sein), die nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren.

In Finnland wird häufig das FRES-Modell (Finnish-Regional-Emission-Scenario-Model) eingesetzt (Karvosenoja und Johanson, 2003). Die nicht motorbedingten Partikelemissionen wurden auf Basis einer Literaturrecherche festgelegt und sind kompatibel mit denen von Gehrig et al. (2003).

Boulter et al. (2007) systematisierten auf Grundlage der Auswertung von Literatur die wichtigsten Methoden und Modelle zur Berechnung der nicht motorbedingten Partikelmodelle. Insbesondere gingen sie auf die Modelle der US-EPA, auf Omstedt et al. (2005), auf das norwegischen VLUFT-Modells (siehe auch Lohmeyer, 2004) sowie auf die europäischen Emissionsdatenbanken CORINAIR und RAINS (siehe auch Lohmeyer, 2004) und auch auf die Emissionsfaktoren nach Düring und Lohmeyer (2004) ein. Für die Verhältnisse in der Marylebone Road in London stellten sie fest, dass dort die nicht motorbedingte PM10-Emissionen (abgeleitet mittels NO<sub>x</sub>-Tracermethode) deutlich niedriger sind als in der genannten Literatur beschrieben. Sie wiesen weiterhin auf den hohen Forschungsbedarf zur Validierung von entsprechenden Emissionsmodellen hin.

Weitere relevante Emissionsmodelle wurden nicht gefunden.

### 3.2.9 Weitere Studien

Hier sei auf folgende nationale Studien hingewiesen, in denen u.a. auch nicht motorbedingte PM10-Emissionen abgeleitet worden sind. Insbesondere sind dies:

Im Rahmen eines Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde für die MLuS-Fortschreibung (Merkblatt für Luftverunreinigungen an Straßen, zukünftig RLuS) eine Aktualisierung der nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren mittels HBEFA3.1 für die Messungen an Straßen- und Tunnelstrecken im Anwendungsbereich von RLuS (weitestgehend Außerortsstraßen und Autobahnen) durchgeführt (Lohmeyer, 2011a). Die dort abgeleiteten PM<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren sind in der **Tab. 3.11** zusammengefasst. Es wurde im Ergebnis der erfolgten Auswertungen festgestellt, dass alle Messungen auch unter Berücksichtigung des HBEFA3.1 eine deutliche Relevanz der nicht motorbedingten PM10-Emissionen aufzeigen. Deren Anteil an den PM10-Gesamtemissionen liegt bei ca. 35 % bis knapp 70 %, im Mittel bei ca. 50 %. Der Beitrag des Straßenabriebes plus Aufwirbelung von Straßenstaub liegt in den beiden Messungen, die dies separat ausweisen bei ca. 20 % bis 30 % (siehe **Tab. 3.12**).

Station	Qualitätsstufe	Messzeitraum	DTV		Verkehrssituation	LV-Auspuff- partikel mg/km	SV-Auspuff- partikel mg/km	Auspuff- partikel mg/km	PM1- Partikel mg/km	PM2.5- Partikel mg/km	LV-PM10- Gesamt- partikel mg/km	SV-PM10- Gesamt- partikel mg/km	PM10- Gesamt- partikel mg/km	LV-PM10- AufAb- Partikel mg/km	SV-PM10- AufAb- Partikel mg/km	PM10- AufAb- Partikel mg/km
			[Kfz/24h]	SV Anteil												
A5 Holzhausen	C	2001	60700	0.13	Land/AB/>130/fluessig	51	160	65					85			20
A5 Kenzingen	C	2001	56700	0.13	Land/AB/>130/fluessig	51	160	65					85			20
A8 Zusmarshausen	B-C	2008	53700	0.14	Land/AB/>130/fluessig_2%	31	79	38					93			55
A8 Zusmarshausen	B-C	2007	53700	0.14	Land/AB/>130/fluessig_2%	36	104	46					81			36
A93 Oberaudorf	B-C	2008	46655	0.16	Land/AB/>130/fluessig	30	79	38					59			21
A93 Oberaudorf	B-C	2009	46655	0.16	Land/AB/>130/fluessig	27	64	33					48			15
A61 BAST	A	9/05 bis 01/07	72000	0.20	Land/AB/>130/fluessig	39	117	55	48		53	210	84	14	93	29
A1 Birrhardt	B	05 bis 08/01	66200	0.11	Land/AB/120/fluessig	30	175	46	42		96	189	106	66	14	60
A2 bei Reiden	B	07 bis 11/07	47000	0.15	Land/AB/120/fluessig	28	101	39	36		62	244	89	34	144	51
A1 HH-Billwerder	C	07/03 bis 06/04	84000	0.22	Agglo/BAB100/60_11%/59%Stau	31	243	78					161			83
B10 Karlsruhe Süd	A	2003	75500	0.14	Land/AB/90/dicht	24	170	45		31	34	434	92	10	264	47
A4 Humlikon	B	10 bis 12/01	40000	0.13	Land/AB/90/dicht	15	206	39	36		45	287	75	30	81	36
Lerchpfad	C	2000	177000	0.06	Agglo/AB-Nat./80/fluessig	26	243	39					140			101
A9 M-Freimann	C	2005	105220	0.06	Land/AB/80/fluessig	22	137	29					52			23
A9 M-Freimann	C	2006	99645	0.06	Land/AB/80/fluessig	21	125	27					46			19
A9 M-Freimann	C	2007	105218	0.06	Land/AB/80/fluessig	18	107	24					38			15
A9 M-Freimann	C	2008	100710	0.05	Land/AB/80/fluessig	16	85	19					32			12
Aathal	B	12/00 bis 04/01	26000	0.06	Agglo/HVS/50/fluessig	14	258	29	27		55	358	73	41	100	44
Chung-Liao Tunnel	B-C	Mai/Juli 05	36000	0.08	Agglo/AB/100/fluessig								57			
Zhujiang Tunnel	C	n.B.	n.B.	0.20	Agglo/AB/100/fluessig					38 110						
Berlin/Tunnel Tegel	B	1994	37000	0.06	Agglo/AB-Nat./80/fluessig	32	400	54			38	597	72	6	197	18
Berlin/Tunnel Tegel	B	Mai-Juni 1996	40000	0.07	Agglo/AB-Nat./80/fluessig	30	337	51			32	834	88	2	497	37
Kaisermühltunnel	B	Sept.-Okt. 02	50000	0.13	Land/AB/80/fluessig	41	200	61					47			-14
Kaisermühltunnel	B	Apr.-Mai. 05	46000	0.10	Land/AB/80/fluessig	35	166	47			40	306	62	5	140	15
Kaisermühltunnel	B	Jul 05	41000	0.10	Land/AB/80/fluessig	35	166	47					39			-8
Tunnel Tingstad	B-C	Nov 99	81600	0.10	Agglo/AB/60/gesättigt								44			
Tauernntunnel	B	1997	19500	0.15	Agglo/AB/60/gesättigt	30	348	78			30	394	85	0	46	7
Brudermühltunnel	B	2001	50000	0.08	Agglo/FernStr-City/50/fluessig	29	214	44			17	193	31	-12	-21	-12

Tab. 3.11: Zusammenstellung der PMx-Emissionsfaktoren aus den Datenauswertungen mit HBEFA 3.1 für den Anwendungsbereich von RLuS. Quelle: Lohmeyer (2011a). (Hinweis: Die angegebenen Auspuffpartikelemissionen beziehen sich auf die Emissionsfaktoren des HBEFA 3.1). n.B. = nicht bekannt. Qualitätsstufe A ist besser als C.

	Messzeitraum	SV-Anteil	PM10-Gesamt [mg/(km × Fzg)]	Auspuffpartikel aus Analysen [mg/(km × Fzg)]	Auspuffpartikel nach HBEFA3.1 [mg/(km × Fzg)]	Bremsabrieb [mg/(km × Fzg)]	Reifenabrieb [mg/(km × Fzg)]	Straßenabriebe sowie Staub- aufwirbelung [mg/(km × Fzg)]
B10 (trockener Werktag)	2003	16%	97	49 (50%)	56 (58%)	<1 (<1%)	18 bis 25 (19% bis 26%)	16 bis 30 (16% bis 31%)
A61 (Mittelwert)	09/05 bis 01/07	20%	84	48 (57%)	55 (65%)	12 (14%)	2 (2%)	15 bis 22 (18% bis 26%)
A2 bei Reiden (Mittelwert)	07 bis 11/07	15%	89	36 (40%)	39 (44%)	3 (3%)	47 bis 50 (53 bis 56%)	
A1 Birrhardt (Mittelwert)	05 bis 08/01	11%	107	42 (39%)	46 (43%)	61 bis 65 (57% bis 61%)		
A4 Humlikon (Mittelwert)	10 bis 12/01	13%	73	36 (49%)	39 (53%)	34 bis 37 (47% bis 51%)		
Aathal (Mittelwert)	12/00 bis 04/01	6%	84	27 (32%)	29 (34%)	54 bis 57 (64% bis 68%)		

Tab. 3.12: Ursachen der PM10-Emissionen an den Messstellen auf freier Strecke mit Qualitätsstufe A oder B. Quelle: Lohmeyer (2011a).

Bzgl. Brems- und Reifenabrieb gab es widersprüchliche Ergebnisse. So lieferten die Messungen an der A 61 deutliche Hinweise auf Bremsabriebe und nur sehr geringen Reifenabrieb. Bei den Datenauswertungen zur B10 war dies umgekehrt. Auch die Messungen an der A 2 zeigen eher geringe Bremsabriebsemissionen. Die aus den Inhaltsstoffanalysen und/oder Partikelgrößenverteilungen abgeleiteten Auspuffpartikelemissionen verglichen sich gut mit denen des HBEFA 3.1. Die Abweichungen liegen zwischen 7 % und 14 %, wobei die Emissionsfaktoren des HBEFA 3.1 immer höher sind.

Die nach Leichtverkehr (LV) und Schwerverkehr (SV) differenzierten PM10-Emissionsfaktoren (soweit ableitbar, siehe **Tab. 3.11**) zeigten große Bandbreiten auf und waren zudem sehr unsicher. Eine Systematisierung in Bezug auf unterschiedliche Tempolimits und Level-of-Service (LOS) war für die Außerortsstraßen wegen der nur wenigen Datenkollektive nicht möglich, drängte sich aber auch nicht auf. Die PM10-Emissionsfaktoren für die nicht motorbedingten Anteile wurden für LV und SV (analog zur Vorgehensweise in Lohmeyer, 2004) aus den in **Tab. 3.11** aufgezeigten Werten der Qualitätsklassen A und B bestimmt, wobei hier die Ergebnisse der B 10- und der A 61-Auswertung wegen der höheren Qualität dieser Datensätze mit doppelten Gewicht in die Mittelwertbildung eingehen. In Lohmeyer (2011a) wurden deshalb für die verschiedenen Verkehrssituationen für freie (nicht überdeckelte Strecken) im Anwendungsbereich von RLuS folgende Werte vorgeschlagen:

**LV:** für alle Verkehrssituationen mit Tempolimit größer 50 km/h unabhängig vom LOS (**freie Strecke**)                      **30 mg/(km · Fzg)**

**SV:** für alle Verkehrssituationen mit Tempolimit größer 50 km/h unabhängig vom LOS (**freie Strecke**)                      **130 mg/(km · Fzg).**

In Tunnelstrecken scheinen die Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen infolge gleichmäßiger Fahrweise und verminderndem Staubeintrag geringer zu sein. Für die PKW-Emissionsfaktoren liegen diese im Mittel niedriger als an freier Strecke. Deshalb wird in Lohmeyer (2011a) für Tunnelstrecken vorgeschlagen:

**LV:** für alle Verkehrssituationen mit Tempolimit größer 50 km/h unabhängig vom LOS (**Tunnel**)                                      **5 mg/(km · Fzg)**

**SV:** für alle Verkehrssituationen mit Tempolimit größer 50 km/h unabhängig vom LOS (**Tunnel**)                                      **130 mg/(km · Fzg).**

Im Rahmen eines Forschungsprojektes für das Umweltministerium Baden-Württemberg wurden für die Messstellen Am Neckartor und Cannstatter Straße in Stuttgart mittels detaillierter Inhaltsstoffanalysen und Modellrechnungen PM10-Emissionsfaktoren auf Basis HBEFA3.1 abgeleitet (Lohmeyer, 2010b). Mit der Modellkombination MISKAM/LASAT wurden dabei unter Beachtung der Korrelation zwischen Meteorologie und Emission sowie unter expliziter Berücksichtigung der Bebauung, der Topografie und der Verkehrstages- und Wochengänge Ausbreitungsberechnungen durchgeführt. Die für die Emissionsbestimmung wichtigen Verkehrssituationen wurden mittels Auswertung der Fahrkurven eines mobilen Messfahrzeugs bestimmt. Die Berechnung der motorbedingten PM10- und NO<sub>x</sub>-Emissionen erfolgte mittels HBEFA3.1 und einer regional repräsentativen Fahrzeugflotte.

Mittels der o. g. Modellkombination und der NO<sub>x</sub>-Tracermethode wurden aus den gravimetrischen Messdaten am Standort Stuttgart Am Neckartor PM10-Emissionsfaktoren von 41 bzw. 44 mg/(Fzg km) bestimmt. Der Vergleich der Modellrechnungen mit den gravimetrischen Messdaten der LUBW weist im Untersuchungszeitraum am Standort Stuttgart Am Neckartor auf einen nicht motorbedingten PM10-Anteil an der lokalen Zusatzbelastung von ca. 40 % hin. Der abgeleitete Reifenabrieb hatte dabei einen Anteil von weniger als 10 % an den lokalen PM10-Gesamtemissionen. Der Rest der nicht motorbedingten Emissionen entfällt auf Brems- und Straßenabrieb und die Wiederaufwirbelung von Straßenstaub. Die Relevanz der motorbedingten Partikelemission lag im viermonatigen Auswertzeitraum und unter Verwendung des HBEFA3.1 damit höher als nach dem bisherigen Ansatz nach Düring und Lohmeyer (2004).

Aus den als Indikator für die Auspuffpartikel gemessenen PM1.1-Partikelkonzentrationen (Kaskadenimpaktoren) konnten mittels NO<sub>x</sub>-Tracermethode zusätzlich motorbedingte Emissionsfaktoren abgeleitet werden. Verglichen mit den aus HBEFA3.1 berechenbaren Auspuffemissionen ergaben sich für die Standorte Am Neckartor und Cannstatter Straße Abweichungen von ca. 10 %. Im Gegensatz hierzu zeigte die Auswertung der groben Partikelfraktion zwischen 2.1 und 10 µm der Kaskadenimpaktordaten höhere Partikelemissionsfaktoren in der Cannstatter Straße als am Standort Am Neckartor. Diese grobe Partikelfraktion wird maßgeblich durch Abriebs- und Aufwirbelungsemissionen beeinflusst. Weil der Verkehrsfluss Am Neckartor schlechter und die Reisegeschwindigkeit Am Neckartor geringer als an der Cannstatter Straße war, hätte die derzeitige Theorie für den Standort Stuttgart Am Neckartor höhere PM10- (insbesondere PM2.1- bis PM10-) Emissionsfaktoren erwartet als an der Cannstatter Straße. Dies zeigte sich in den Ergebnissen der Datenauswertungen nicht. Eventuell spielen hier infrastrukturelle Unterschiede (Randbebauung, Bäume, Büsche etc.)

eine stärkere Rolle als bisher berücksichtigt. Allerdings sind die Messunsicherheiten bei der Interpretation der Ergebnisse und der Einfluss des nur viermonatigen Messzeitraumes sicherlich nicht zu unterschätzen. Es wurde auf den notwendigen weiteren Forschungsbedarf auf diesem Gebiet hingewiesen.

Im Rahmen der Aktualisierungen der Luftreinhaltepläne Cottbus und Frankfurt/Oder im Land Brandenburg wurden Immissionsdaten ausgewertet und Modellrechnungen (MISKAM) durchgeführt, um ebenfalls auf Basis des HBEFA3.1 PM10-Emissionsfaktoren abzuleiten (Lohmeyer, 2011b). Mittels NO<sub>x</sub>-Tracermethode (sowie für Cottbus mit MISKAM rückgerechnet) wurden für die o. g. Messstellen PM10-Emissionsfaktoren abgeleitet (**Tab. 3.13**).

	Jahr	DTV Kfz/d	SV-Ant	PM10-Gesamt mg/km	HBEFA3.1 PM10-Motor mg/km	MISKAM- Rückrechnung	
						NO <sub>x</sub> -Tracer PM10-AufAb mg/km	PM10-AufAb mg/km
<b>Cottbus Bahnhofstraße</b> VS= FernCT50 Tags gesättigt, nachts dichter Verkehr entspricht etwa LSA2	2003	24733	0.032	108	32	76	96
	2004	25677	0.036	104	32	72	84
	2005	25403	0.036	115	33	82	85
	2006	25187	0.036	121	30	90	96
	2007	24944	0.036	98	28	70	82
<b>Frankfurt Leipziger Straße</b> VS= FernCT50 Tags dichter, nachts freier Verkehr entspricht etwa HVS2	2004	28646	0.066	148	30	118	n.b.
	2005	28412	0.064	124	31	93	n.b.
	2006	28177	0.063	95	29	66	n.b.
	2007	26898	0.066	57	27	31	n.b.
<b>Potsdam Zeppelinstraße</b> VS= FernCT50 immer dichter Verkehr entspricht etwa HVS2 bis LSA1	2004	32107	0.052	125	31	95	n.b.
	2005	31525	0.053	117	32	85	n.b.
	2006	31051	0.053	116	30	86	n.b.
	2007	28256	0.060	71	29	42	n.b.

Tab. 3.13: Verkehrsdaten und abgeleitete PM10-Emissionsfaktoren für Cottbus/Bahnhofstraße, Frankfurt-Oder/Leipziger Str. sowie Potsdam/Zepplinstraße  
n.b = nicht berechnet. PM10-Gesamt = mittels NO<sub>x</sub>-Tracermethode abgeleitet

Es ist zu erkennen, dass der motorbedingte Anteil in der Bahnhofstraße unter Verwendung der NO<sub>x</sub>-Tracermethode in Cottbus bei ca. 30 %, in der Leipziger Straße in Frankfurt/Oder je nach Bezugsjahr bei ca. 20 % bis 50 % und in der Zeppelinstraße in Potsdam bei ca. 25 % bis 41 % lag. Die Rückrechnungen mit MISKAM in Cottbus lieferten tendenziell höhere

PM10-Gesamtemissionsfaktoren als die NO<sub>x</sub>-Tracermethode, die je nach Bezugsjahr ca. 4 % bis 26 % höhere nicht motorbedingte PM10-Emissionsfaktoren ergaben.

Die Aufteilung in Leicht- (LV) und Schwerverkehr (SV) erfolgte für Cottbus und Potsdam auf Grundlage des Werktag- zu Wochenendvergleiches bzw. der Regression über SV-Klassen. Die Ergebnisse für die nicht motorbedingten PM10-Emissionen sind in den **Tab. 3.14** und **Tab. 3.15** aufgeführt. Für die Leipziger Straße war wegen der Datenlage keine Aufteilung möglich.

<b>Jahr</b>	<b>WT zu Sa u. So- Vergleich PM10-AufAb mg/km LV</b>	<b>aus WT zu Sa u. So-Vergleich PM10-AufAb mg/km SV</b>
2003	39	1059
2004	32	1302
2005	51	941
2006	65	975
2007	38	1438

Tab. 3.14: PM10-Auf/Ab differenziert nach LV und SV für Cottbus/Bahnhofstraße

<b>Jahr</b>	<b>NO<sub>x</sub>-Tracer aus LKW-Klassen PM10-AufAb mg/km LV</b>	<b>NO<sub>x</sub>-Tracer aus LKW- Klassen PM10-AufAb mg/km SV</b>
2005	61	871
2006	63	923
2007	25	735

Tab. 3.15: PM10-Auf/Ab differenziert nach LV und SV für Potsdam/Zeppelinstraße

Auffällig hier sind die großen Unterschiede zwischen Leicht- und Schwerverkehrsemissionsfaktor (Faktor 15 bis 41 in Cottbus sowie Faktor 14 bis 29 in Potsdam).

In einem Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen (Lohmeyer, 2008) wurden PM10- und NO<sub>x</sub>-Messdaten an mehreren Messstellen in Bezug auf den Einfluss der Fahrzeuggeschwindigkeit, des Tempolimits, des Fahrbahnzustandes sowie der Meteorologie ausgewertet. Die dort auf Basis des HBEFA2.1 abgeleiteten Emissionsfaktoren werden nach Aktualisierung auf HBEFA3.1 verwendet.

In einem Forschungsprojekt des BMVBS (Lohmeyer, 2009) wurden mittels mobilen Messfahrzeug SNIFFER (ein VW LT35 mit einem maximalen Gewicht von 3 550 kg) auf einem Straßennetz in Halle/Saale im Bereich der Merseburger Straße Befahrungen durchgeführt. Neben den aus Fahrkurven (kalibriertes Peiseler Messrad an PKW) ermittelten Verkehrssituationen für die einzelnen Straßenabschnitte wurde in der gleichen räumlichen Auflösung jeweils ein Maß für den nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktor des SNIFFER-Fahrzeuges ermittelt. Diese im Straßennetz abgeleiteten Verkehrssituationen und Emissionsfaktoren sind in den **Abb. 3.4** und **Abb. 3.5** dargestellt.

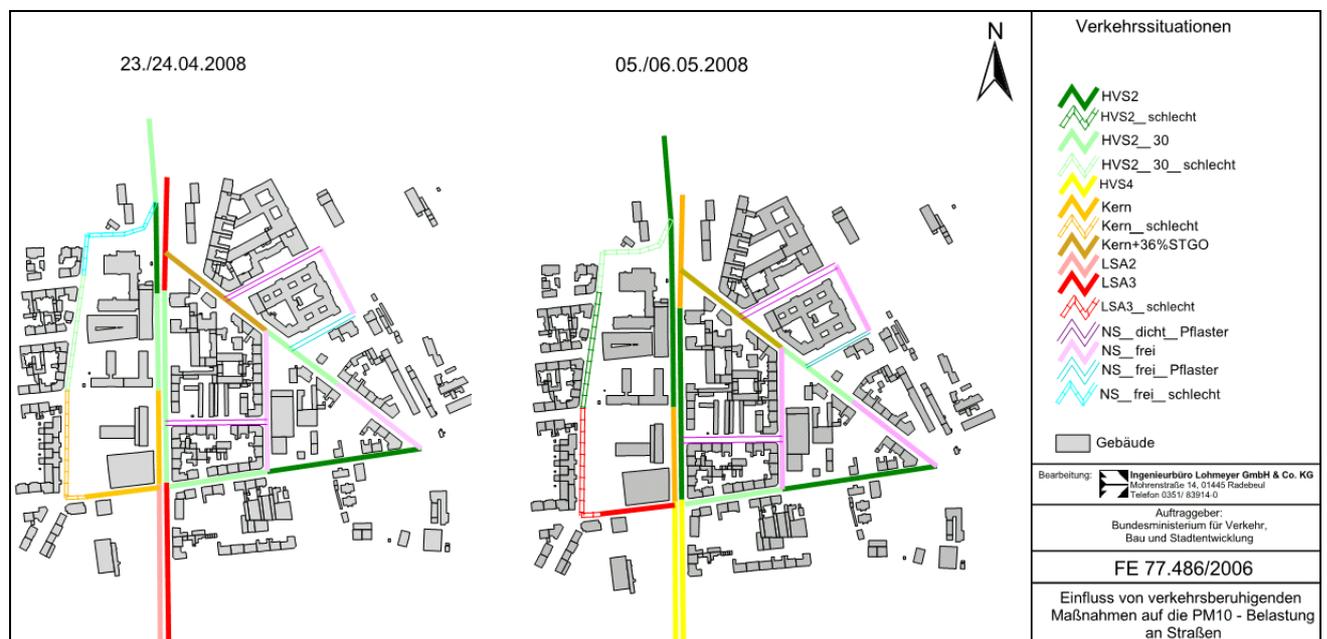


Abb. 3.4: Messtechnisch ermittelte Verkehrssituationen nach HBEFA2.1 im Bereich um die Merseburger Straße in Halle/Saale. Quelle: Lohmeyer (2009)

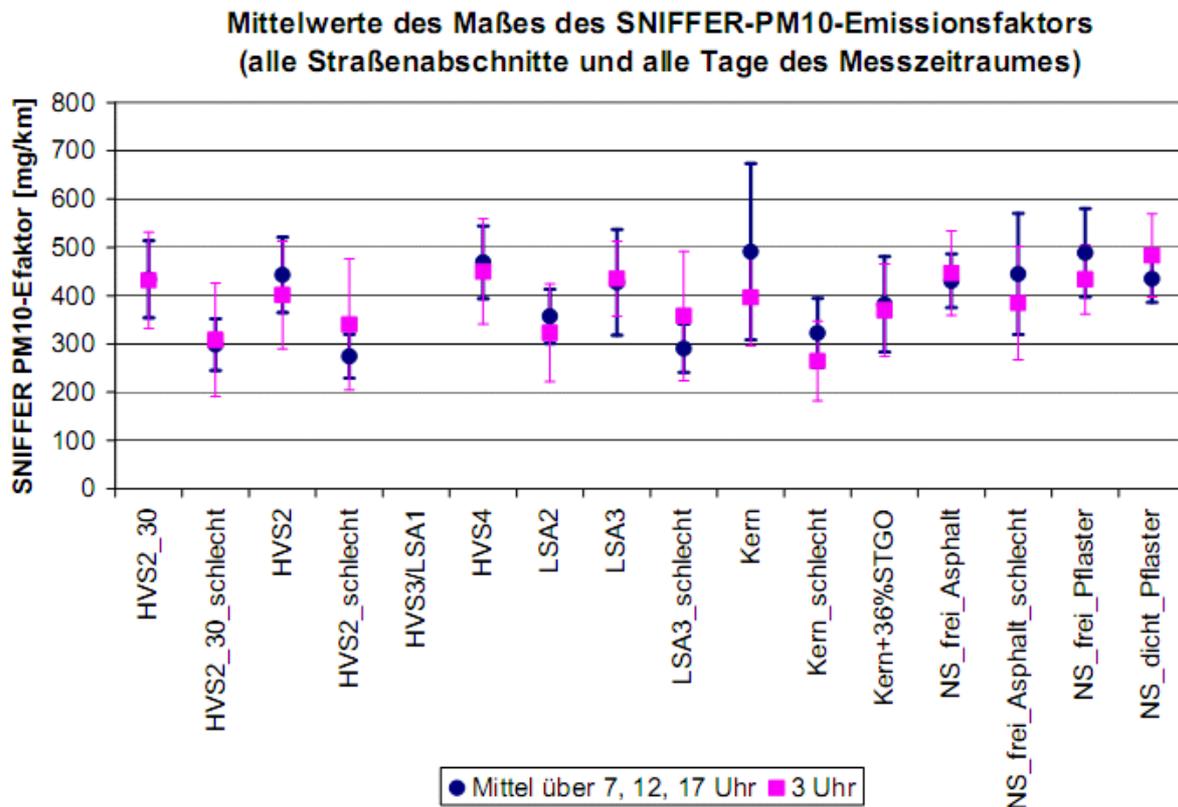


Abb. 3.5: Mittelwerte über alle Messtage und alle Straßenabschnitte des Maßes für die nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren sowie deren Standardabweichung in Abhängigkeit von den ermittelten Verkehrssituationen. Quelle: Lohmeyer (2009)

Daraus leiteten die Autoren Folgendes ab:

- Es konnten im Messzeitraum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Tag- und den Nachtwerten festgestellt werden.
- Die Unterschiede der mittleren SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Verkehrssituationen lagen im Messzeitraum innerhalb der Standardabweichung und sind damit statistisch nicht signifikant.
- Ein schlechter Straßenzustand führte bei gleicher Verkehrssituation im Messzeitraum nicht zwangsläufig zu einem höheren nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktor. Im Allgemeinen liegen hier sogar die Straßenabschnitte mit schlechten Straßenzustand tendenziell niedriger als die im gutem Zustand. Dies betrifft Abschnitte der Turmstraße. Diese wiesen allerdings in den unbeschädigten Fahrbahn-

bereichen sehr glatte Oberflächen im Vergleich zu den anderen Straßenabschnitten auf, die wenig Möglichkeit für die Ablagerung von aufwirbelbarem Staubpotenzial bot.

- Ebenfalls führte im Messzeitraum eine gepflasterte Fahrbahnoberfläche nicht zwangsläufig zu einem deutlich höheren nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktor. Dies mag auch daran gelegen haben, dass das Messfahrzeug dort deutlich langsamer fahren musste als auf den anderen Straßenabschnitten.
- Im Mittel wurde ein Maß für den nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktor (kalibriert mit Werten aus Finnland) von  $405 \pm 112$  mg/km im Messzeitraum ermittelt.

Die Straßenabschnitte mit den mittels SNIFFER ermittelten höchsten (nicht motorbedingten) SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren sind die nördlich und östlich an die Kreuzung Merseburger Straße/Raffineriestraße angrenzenden Abschnitte, der mittlere stadteinwärtige Abschnitt der Merseburger Straße, die Osendorfer- und die Ernst-Kamieth-Straße (siehe **Abb. 3.6**). Die Ursachen für die Emissionsverteilungen lagen nicht direkt auf der Hand. Einflüsse der Straßenoberfläche (Osendorfer Straße), des Verkehrsflusses (Kreuzungsbereiche) sowie der unterschiedlich dichten Randbebauung auf die PM10-Emission wären plausible Gründe dafür. Hier wurde von den Autoren auf den dringenden Forschungsbedarf hingewiesen.

Weiterhin wurde im Rahmen des genannten Projektes festgestellt, dass die mit SNIFFER ermittelten nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren für die Abschnitte der Merseburger Straße direkt vor der Messstelle, auf denen ein sehr hoher Konstantfahrtanteil vorlag, eine signifikante positive Korrelation zur Fahrzeuggeschwindigkeit aufwiesen. Daraus ließ sich eine Minderung der (nicht motorbedingten) SNIFFER-PM10-Emissionen von ca. 20 % für die Werktage mit wirksamen verkehrsberuhigenden Maßnahmen (Tempolimit 30 km/h und Radarkontrolle) ableiten. Falls es gelingen würde, dass alle Fahrzeuge das Tempolimit von 30 km/h bei gleichem Verkehrsfluss einhalten, ergäbe sich aus den abgeleiteten Korrelationsfunktionen ein maximales Minderungspotenzial von 40 % bis 50 %. An Straßenabschnitten, an denen der Verkehrsfluss ungleichförmiger war, konnte keine solche Korrelation gefunden werden. Hier spielen wahrscheinlich andere Einflüsse (z. B. das Beschleunigungsverhalten der Fahrzeuge) eine stärkere Rolle.

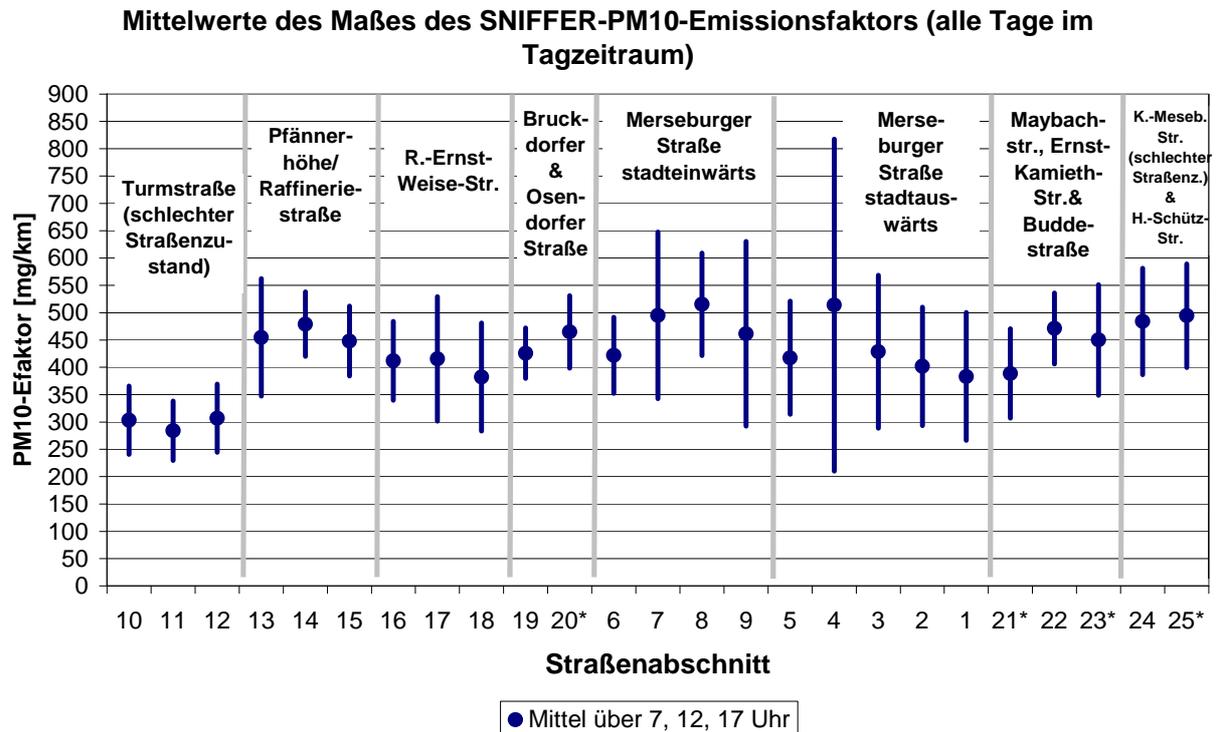


Abb. 3.6: Mittelwerte (über alle Messtage) im Tagzeitraum des Maßes für die nicht motorbedingten SNIFFER-PM10-Emissionsfaktoren sowie deren Standardabweichungen in Abhängigkeit für die untersuchten Straßenabschnitte. Straßenabschnitte, die mit einem \* gekennzeichnet sind, sind gepflastert.  
Quelle: Lohmeyer (2009)

Auch Worringen et al. (2010) befassten sich mit den Ursachen der PM10-Konzentrationen. Es wurde hierbei eine elektronenmikroskopische Methode zur quantitativen Bestimmung der Anteile verschiedener Verkehrskomponenten an PM10 an einem Verkehrsschwerpunkt entwickelt. Dieser Ansatz kombiniert Informationen über die chemische Zusammensetzung, Morphologie, Flüchtigkeit und den Mischungszustand individueller Partikel und ermöglicht die Unterscheidung von Abgas, Abrieb und Aufwirbelung. Die Feinstaubimmission wurde an einer Verkehrsstation (Essen - Gladbecker Straße) und an einer städtischen Hintergrundstation (Mühlheim-Styrum) untersucht. An insgesamt 38 Tagen im Zeitraum vom 9. Februar bis 22. September 2009 wurden 40 Sammlungen mit 160 Proben durchgeführt. Die Größe und chemische Zusammensetzung von insgesamt 111 003 Aerosolpartikeln von 20 Tagen (80 Impaktorproben) wurden automatisiert mittels Rasterelektronenmikroskopie und energiedispersiver Röntgenmikronalyse bestimmt. Zusätzlich wurden die Morphologie und der Mischungszustand aller Partikel durch manuelle Nachbearbeitung untersucht. Bei der Untergliederung der Verkehrskomponente ergaben sich für PM10 am Verkehrsschwerpunkt Glad-

becker Straße in Essen folgende Anteile: 30 % Abgas, 17 % Abrieb und 54 % Aufwirbelung. Dies entspricht einem Verhältnis von Abgaskomponente zur Abrieb/Aufwirbelungskomponente von etwa 0.42.

Weiterhin lagen uns weitere Ergebnisse aus Modellberechnungen im Rahmen der Untersuchungen zu Luftreinhalteplänen, wie z. B. in Hannover, Berlin, Bremen und Hamburg vor. Auch diese werden in der weiteren Systematisierung verwendet.

### **3.3 Vorgehensweise bei der Aktualisierung der nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren**

Durch die Aktualisierung des Handbuches (HBEFA Version 3.1, UBA, 2010) ergeben sich sowohl bei den  $\text{NO}_x$ - als auch bei den Auspuff-Partikelemissionsfaktoren deutliche Änderungen in den Emissionsfaktoren gegenüber dem HBEFA2.1 auch für die Bezugsjahre, die den o. g. Ableitungen von Lohmeyer (2004) zu Grunde gelegen haben. Diese Änderungen haben direkten Einfluss auf die abgeleiteten nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren.

Unabhängig davon haben sich auch die Festlegungen der Verkehrssituationen zwischen HBEFA2.1 und 3.1 grundlegend geändert.

Weiterhin sind seit 2004 weitere Ergebnisse bundesdeutscher und europäischer Messkampagnen und Datenauswertungen hinzugekommen (siehe oben). Diese finden bei der Aktualisierung der nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren Berücksichtigung.

Folgende Vorgehensweise wird deshalb gewählt:

1. Neufestlegung der Verkehrssituationen der bisher (Lohmeyer, 2004) verwendeten Datensätze
2. Berechnung der  $\text{NO}_x$ - und motorbedingten PM10-Emissionen für die bisherigen (Lohmeyer, 2004) Datensätze.
3. Auswertung der Literatur zu den seit 2004 veröffentlichten PM10-Emissionen und -Immissionen (siehe oben) inkl. Auswertung von Messdaten an sächsischen Messstellen.
4. Für die bisher (Lohmeyer, 2004) mittels  $\text{NO}_x$ -Tracermethode abgeleiteten PM10-Gesamtemissionen: Neuableitung mittels aktualisierten  $\text{NO}_x$ -Emissionen
5. Berechnung der nicht motorbedingten PM10-Emissionen
6. Systematisierung nach den Verkehrssituationen des HBEFA3.1 sowie nach Leicht- und Schwerverkehr

7. Schlussfolgerungen und Vorschlag für Emissionsfaktorendatensatz.

### **3.4 Datensätze Innerorts aus der Untersuchung 2004**

Hierzu lagen die Datensätze der **Tab. 3.2** vor. Die Auswertung nach HBEFA2.1 lieferte nach Lohmeyer (2004) die Ergebnisse der **Tab. 3.16**.

### **3.5 Datensätze Innerorts für Untersuchungen nach 2004**

Im Rahmen der oben erläuterten aktualisierten Literatur- und Datenrecherche wurden die in **Tab. 3.17** aufgeführten Datensätze für die Innerortsverkehrssituationen zusammengestellt. Sehr detaillierte Untersuchungen lagen für die Messstellen Stuttgart/Am Neckartor und Cannstatter Straße sowie für die Weststraße in Zürich vor. Mehrjährige Zeitreihen lagen für die Stationen im Land Brandenburg, der Lützner Straße in Leipzig sowie der Schildhornstraße und Frankfurter-Allee in Berlin vor.

## **3.6 Einfluss des HBEFA 3.1 auf die Ergebnisse der vorliegenden Datenauswertungen**

### **3.6.1 Grundlagen**

Die meisten der in **Tab. 3.16** beschriebenen Ergebnisse wurden mittels  $\text{NO}_x$ -Tracermethode abgeleitet. Bei dieser Methode wird vorausgesetzt, dass die Emissionsfaktoren der Tracer-substanz bekannt sind. Im Allgemeinen werden hierbei die Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) verwendet, da diese die am besten untersuchten verkehrsbezogenen Emissionsfaktoren darstellen und das Verhältnis zwischen verkehrsbedingter Zusatzbelastung zu Hintergrundbelastung im Nahbereich von Straßen ausreichend groß ist. Die Berechnung der  $\text{NO}_x$ -Emissionsfaktoren erfolgte dabei mittels Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA) in der Version 2.1 (2004). Das Verhältnis zwischen  $\text{NO}_x$ -Emissionsdichte und  $\text{NO}_x$ -Zusatzbelastung stellt das so genannte Verdünnungsverhältnis dar. Weiterhin wird begründet angenommen, dass sich PM10 aufgrund seiner kleinen Partikelgrößen quasi wie ein Gas ausbreitet und dass deshalb das für  $\text{NO}_x$

Straße	Messzeitraum	Qualitätsklasse	Straßenkategorie	Tempolimit (km/h)	DTV (Kfz/24h)	Anteil LKW (%)	PM10-E-Ges. g/(km²FZG)	PM10-E g/(km²PKW)	PM10-E g/(km²LKW)	PM10- AufAb g/(km²FZG)	PM10- AufAb g/(km²PKW)	PM10- AufAb g/(km²LKW)	PM10-Ausputf g/(km²FZG)
AB/Kanzelggen	2001	C	AB>120		69700	13.1	0.072			0.028			0.047
AB/Holzhausen	2001	C	AB>120		60700	12.9	0.070			0.028			0.045
A4/BA/B	2002	C	AB>120		72800	8.8	0.090			0.057			0.033
AB/Zumershausen	2002	B	AB>120		66800	15.0							0.040
A1/Birhard	Mal-Aug 01	B	AB120	120	89200	10.8	0.083	0.083	0.287	0.050	0.047	0.074	0.033
N201/Holland	Dez 98	B-C	AB120	120	28000	10.0	0.100	0.040	0.640				
A4/Jena	2003	C	AB100		110	69000	15.0						
A4/Hummikon	04-Dez 01	B	AB100g		100	40300	12.5	0.071	0.033	0.344	0.037	0.022	0.144
B10/Karlsruhe	2003	A	AB100g		100	75600	14.4	0.081	0.028	0.410	0.038	0.009	0.211
Berlin/Lerdopfad	1989-92	C	BAB80	80	190000	8.0	0.216	0.098	1.800	0.169	0.073	1.271	0.047
Berlin/Lerdopfad	2000	C	BAB80	80	177200	5.8	0.140			0.108			0.034
Ashital	Dez 00-Apr 01	B	Innenorts80	50	28000	6.1	0.087	0.046	0.394	0.044	0.033	0.207	0.023
Holland/Dreichtunnel	Mar 99	B-C	Tunnel/BAB100	100	75000	su.*		0.040	0.800		0.023	0.508	
Holland/Dreichtunnel	Jul 97	B-C	Tunnel/BAB100	100	k.A.	su.*		0.045	0.920		0.028	0.626	
Berlin/Tunne (Fagel)	1994	B	Tunnel/BAB80	80	37000	8.0	0.071	0.038	0.597	0.032	0.016	0.290	0.039
Berlin/Tunne (Fagel)	Mal-Juni 1998	B	Tunnel/BAB80	80	40000	7.0	0.088	0.032	0.834	0.062	0.012	0.578	0.036
Kaiserslautern	Sept.-Okt. 02	B	Tunnel/BAB80	80	60000	12.6	0.047			0.001***	0.000	0.000	0.045
Tunnel Tingstad	Nov 99	B-C	Tunnel/BAB80g	80	81800	10.0	0.044			0.012			0.032
Tauern Tunnel	1997	B	Tunnel/BAB80g	80	19500	15.0	0.085	0.030	0.394	0.038	0.016	0.143	0.049
Brudersmühlentunnel	2001	B	Tunnel/OB80	50	50000	8.0	0.031	0.017	0.195	0.010	0.004	0.075	0.021
Z/Rosengartenstr.	Jan.-Mai 02	B	HVB1_8%	50	66000	5.8	0.056	0.030	0.496	0.022	0.017	0.115	0.034
H/Göttinger Str.	2001	A	HVB2/HVB4	50	32000	8.0	0.085			0.044			0.041
Kop./Jagtha	2001	B	HVB2	50	28000	4.5	0.148			0.098			0.050
Dresden/Bergstraße	2003	C	HVB4_6%	50	16800	13.1	0.195			0.126			0.069
Z/Weststraße	Okt. 02-März 03	B	LBA1	50	21000	6.1	0.104	0.049	0.703	0.075	0.039	0.383	0.029
Aue/Bahnhofstr.	2000	C	LBA1	50	10000	5.0	0.097			0.059			0.028
Neuen/Langemarckstr.	2000	B	LBA2	50	42000	8.1	0.133			0.071			0.063
R./Hohelplatz	2000	B	LBA2	50	62000	11.0	0.116			0.041			0.076
Wittenb./Deasauer Str.	2000	C	LBA2	50	13700	14.0	0.093			0.033			0.080
Görlitz/Zappelnstr.	2000	C	LBA2	50	21000	8.0	0.162			0.117			0.048
Görlitz/Zappelnstr.	2002	C	LBA2	50	24900	4.9	0.200			0.166			0.035
Klein/Westring	2000	B	LBA2	50	34000	3.5	0.032			-0.010			0.042
B./Schilchomstraße	2000	B	LBA2	50	43000	5.8	0.097			0.018			0.051
B./Schilchomstraße	Nov-Dez 2000	B-C	LBA2	50	43200	5.8	0.089	0.040	1.000	0.046	0.024	0.491	0.044
Stuttgart Mitte	2001	B	LBA2	50	63300	2.3	0.065			0.028			0.037
B./Frankfurter Allee	2000	B	LBA2	50	62300	4.8	0.108			0.087			0.039
B./Frankfurter Allee	Jul.-Okt. 1999	B	LBA2	50	62300	4.8	0.128	0.088	0.917	0.082	0.069	0.344	0.044
B./Frankfurter Allee	1994/95	C	LBA2	50	54000	4.0	0.217			0.159			0.059
Cottbus/Bahnhofstr.	1998	B	LBA2	50	23200	6.7	0.152			0.092			0.080
Cottbus/Bahnhofstr.	1999	B	LBA2	50	27100	5.6	0.151			0.113			0.048
FF./Oder-Lepziger Str.	1998	B	LBA2	50	34300	8.2	0.151			0.094			0.057
P./H.-Thoms-Str.	1998	B	LBA2	50	14700	4.5	0.120			0.073			0.047
P./H.-Thoms-Str.	1999	B	LBA2	50	15200	5.2	0.133			0.067			0.046
Nbg Am Pferdemarkt	2000	B	LBA3	50	49600	10.0	0.219			0.148			0.071
Neuen/Berliner Str.	2001	B	LBA3	50	16200	8.7	0.235	0.180	1.280	0.186	0.145	0.728	0.049
Zürich/Schmalstr.	Jan-Mai 02	B	LBA3	50	27700	6.9	0.184	0.104	1.288	0.142	0.092	0.819	0.042
HH./Strossmannstr.	2001	C	Tempo30	30	26000	10.0	0.018			<0.023			0.041
Neuen/Berliner Straße	1998	B	LBA3_schlecht	50	16800	7.4	0.420			0.350			0.070
Lelozg/Lützer Straße	2003	B	LBA1_schlecht	50	28900	4.2	0.110	0.044	1.800	0.093	0.032	1.600	0.023
Lelozg/Lützer Straße	1103-10/04	B	LBA1_schlecht	50	28300	4.5	0.120	0.044	1.800	0.098	0.033	1.600	0.022
Lelozg/Lützer Straße	Okt-Nov. 2000	C	LBA1_schlecht	50	28200	5.5	0.690			0.627			0.033

Tab. 3.16: Zusammenstellung der PM10-Emissionsfaktoren aus Lohmeyer (2004).  
 Qualitätsklasse: Datenverfügbarkeit ist für A besser als für C

Quelle	Station	Qualitäts- klasse	Jahr	DTV		Verkehrssituation
				[Kfz/24h]	LKW Anteil	
Lohmeyer et al. (2008)	Leipzig/Lützner Straße*	B	06-11/2006	20400	0.038	HVS2/Kern/HVS4/LSA2
Lohmeyer et al. (2008)	Nauen/Berliner Straße	B	2000	18100	0.071	LSA3
Buckowiecki et al. (2009)	Zürich/Weststraße	B	Febr./März 2007	21000	0.100	HVS3
Lohmeyer et al. (2003)	Nauen/Berliner Str.	B	2003	11950	0.050	LSA1
Lohmeyer et al. (2003)	Nauen/Berliner Str.	B	2002	17650	0.067	LSA3
Lohmeyer et al. (2004)	B./Frankfurter Allee	B	2004	60200	0.026	LSA2
Lohmeyer et al. (2008)	B./Schildhornstraße	B	2005	40800	0.059	LSA1/HVS2
Lohmeyer et al. (2008)	DD./Bergstraße	C	2005	20000	0.060	HVS2_6%
Lohmeyer et al. (2005)	Bremen/Neuenlander Str.	B	06-09/2005	40500	0.092	LSA1_mit Stau
Lohmeyer et al. (2010c)	Cottbus/Bahnhofstraße	B	2003	24733	0.032	LSA2
Lohmeyer et al. (2010c)	Cottbus/Bahnhofstraße	B	2004	25677	0.036	LSA2
Lohmeyer et al. (2010c)	Cottbus/Bahnhofstraße	B	2005	25403	0.036	LSA2
Lohmeyer et al. (2010c)	Cottbus/Bahnhofstraße	B	2006	25187	0.036	LSA2
Lohmeyer et al. (2010c)	Cottbus/Bahnhofstraße	B	2007	24944	0.036	LSA2
Lohmeyer et al. (2010c)	Cottbus/Bahnhofstraße	B	2009	24900	0.036	LSA2
Lohmeyer et al. (2010c)	Cottbus/Bahnhofstraße	B	2010	22710	0.048	LSA2
Lohmeyer et al. (2010c)	Frankfurt-O./Leipziger Straße	B	2004	28646	0.066	HVS2
Lohmeyer et al. (2010c)	Frankfurt-O./Leipziger Straße	B	2005	28412	0.064	HVS2
Lohmeyer et al. (2010c)	Frankfurt-O./Leipziger Straße	B	2006	28177	0.063	HVS2
Lohmeyer et al. (2010c)	Frankfurt-O./Leipziger Straße	B	2007	26898	0.066	HVS2
Lohmeyer et al. (2010c)	Frankfurt-O./Leipziger Straße	B	2009	26900	0.066	HVS2
Lohmeyer et al. (2010c)	Potsdam/Zepelinstraße	B	2004	32107	0.052	HVS2 bis LSA1
Lohmeyer et al. (2010c)	Potsdam/Zepelinstraße	B	2005	31525	0.053	HVS2 bis LSA1
Lohmeyer et al. (2010c)	Potsdam/Zepelinstraße	B	2006	31051	0.053	HVS2 bis LSA1
Lohmeyer et al. (2010c)	Potsdam/Zepelinstraße	B	2007	28256	0.060	HVS2 bis LSA1
Lohmeyer et al. (2010c)	Potsdam/Zepelinstraße	B	2009	28200	0.060	HVS2 bis LSA1
Lohmeyer et al. (2010b)	Stg./Am Neckartor*	A	Nov. 2006 bis März 2007	87200	0.035	LSA1
Lohmeyer et al. (2010b)	Stg./Cannstatter Str.	A	Nov. 2006 bis März 2007	105900	0.035	HVS1
Lohmeyer et al. (2010d)	H/ Göttinger Str.	B	2007	33600	0.071	HVS2
Lohmeyer et al. (2010d)	H/ Göttinger Str.*	B	2007	33600	0.071	HVS2
Lohmeyer et al. (2010e)	HH/Habichtstraße	B	2008	45972	0.041	HVS2 bis LSA1

Tab. 3.17: Datensätze aus PM10-Untersuchungen nach 2004 für Innerortsstraßen. Die Beschreibung der Verkehrssituationen bezieht sich hier noch auf die Systematik des HBEFA2.1. \*=Rückrechnung mittels Ausbreitungsmodell sonst NO<sub>x</sub>-Tracermethode.

abgeleitete Verdünnungsverhältnis auch für PM<sub>x</sub> gilt. Wird dann die messtechnisch erfasste PM<sub>x</sub>-Zusatzbelastung mit dem Verdünnungsfaktor multipliziert, erhält man die PM<sub>x</sub>-Emissionsdichte:

$$\text{NO}_x\text{-ZB} / \text{E}(\text{NO}_x) = \text{PM}_{10}\text{-ZB} / \text{E}(\text{PM}_{10}) = \text{Verdünnungsfaktor} = \text{konst. bzw.} \\ \text{E}(\text{PM}_{10}) = \text{PM}_{10}\text{-ZB} \cdot \text{E}(\text{NO}_x) / \text{NO}_x\text{-ZB},$$

wobei ZB die Differenz zwischen Gesamtbelastung und Hintergrundbelastung kennzeichnet und E die jeweilige Emissionsdichte. Mittels Division der Emissionsdichte durch die Fahrzeugmengen erhält man dann den gesuchten Emissionsfaktor.

Aus den PM<sub>10</sub>-Gesamtimmissionen wurde durch Subtraktion der Hintergrundbelastung die verkehrsbedingte Zusatzbelastung berechnet. Mit dieser Zusatzbelastung wurden die PM<sub>10</sub>-Gesamtemissionsfaktoren (Auspuff- plus Aufwirbelung und Abriebsemissionen) berechnet. Bei der Mehrheit der Datensätze wurde der nicht motorbedingte PM<sub>10</sub>-Anteil ermittelt, indem von den Gesamtemissionsfaktoren der Auspuffanteil subtrahiert worden ist. Dieser Auspuffanteil wurde mittels HBEFA 2.1 (2004) berechnet.

Nunmehr steht die Aktualisierung des Handbuchs (HBEFA Version 3.1) zur Verfügung. Es ergeben sich sowohl bei den NO<sub>x</sub>- als auch bei den Auspuff-Partikelemissionsfaktoren deutliche Änderungen in den Emissionsfaktoren auch für die Bezugsjahre, die den o. g. Ableitungen zu Grunde gelegen haben. Diese Änderungen haben direkten Einfluss auf die abgeleiteten nicht motorbedingten PM<sub>10</sub>-Emissionsfaktoren. Deswegen wird deren Einfluss auf die Ergebnisse im Folgenden quantifiziert.

Dazu erfolgte zunächst die Festlegung der Verkehrssituation entsprechend der Systematisierung des HBEFA3.1. Hierbei wurde sich an der Lage der Straße im Straßennetz, dem entsprechenden Tempolimit und insbesondere auch an der Zuordnungsmatrix HBEFA2.1 zu HBEFA3.1 aus Abschnitt 2.2.1 orientiert.

Darauf aufbauend wurden unter Berücksichtigung der entsprechenden Bezugsjahre die NO<sub>x</sub>- und Auspuffpartikelemissionen mit HBEFA3.1 berechnet. Mittels NO<sub>x</sub>-Tracermethode erfolgte die Neuberechnung der PM<sub>10</sub>-Gesamtemissionsfaktoren. Bei den mittels Rückrechnung mit einem Ausbreitungsmodell gekennzeichneten Daten konnten die PM<sub>10</sub>-Gesamtemissionen unverändert übernommen werden, da diese unabhängig von einem Tracerstoff sind.

Von diesen wurden dann die Auspuffpartikel abgezogen, die mittels HBEFA3.1 berechnet wurden. Dies ergibt dann die aktualisierten nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren.

### 3.6.2 Ergebnisse der Aktualisierung für die vorliegenden Datensätze

Die **Tab. 3.18** fasst die mittels HBEFA3.1 abgeleiteten PM10-Emissionsfaktoren zusammen. Es sei darauf hingewiesen, dass Straßen im schlechten Zustand sowie mit Tempolimit 30 km/h hier nicht aufgeführt sind. Folgendes fällt auf:

Nur für eine begrenzte Auswahl gegenüber der großen Vielfalt an Verkehrssituationen des HBEFA3.1 liegen entsprechende Daten vor. Dies betrifft auch die Tempolimits und die Level of Service (LOS). Es kann deshalb keine eindeutige, nur auf Messdaten basierende, Zuordnung zu allen Verkehrssituationen des HBEFA3.1 geben.

Für einige Straßen liegen mehrjährige Daten vor. Diese variieren für die abgeleiteten nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren z. T. sehr deutlich (siehe z. B. Cottbus/Bahnstraße, Zürich/Weststraße).

Auch die nach Leicht- und Schwerverkehr getrennt angegebenen nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren (soweit verfügbar) variieren z.T. ebenfalls sehr stark.

## 3.7 Systematisierung und Vorschlag für PM10-Emissionsfaktoren

In Lohmeyer (2004) wurde die nachfolgend beschriebene Herangehensweise für die Berechnung der PM10-Emissionen einer Straße vorgeschlagen. Dort wurde im Sinne einer notwendigen schnellen und pragmatischen Zwischenlösung für die Berechnung der nicht motorbedingten PM10-Emissionen ein Ansatz gewählt, der kompatibel mit den Verkehrssituationen im Handbuch für Emissionsfaktoren ist. Diese Vorgehensweise stellte kein grundsätzlich neues und physikalisch fundiertes Modell der PM10-Emissionsberechnung dar. Diese längerfristige Lösung ist nach wie vor anzustreben. Ziel der hier durchgeführten Arbeiten war die Aktualisierung dieses Ansatzes auf die Erfordernisse des HBEFA 3.1.

Es wird somit für die Berechnung der PM10-Emissionen einer Straße wie bisher davon ausgegangen, dass sie sich für das zu betrachtende Bezugsjahr (Bzj) zusammensetzen aus den Emissionen aus dem Auspuff, den direkten Emissionen (also ohne vorherige Deposition auf

der Straße) aus **Abrieben** (Reifen, Bremsen und Straßenbelag) und einem Beitrag infolge der Wiederaufwirbelung (Resuspension) von Straßenstaub, also

$$e_{PM10}(Bzj) = e_{PM10}^{Auspuff}(Bzj) + e_{PM10}^{dAbr}(Bzj) + e_{PM10}^{Auf}(Bzj) \quad (3.1)$$

Dabei werden  $e_{PM10}^{Auspuff}(Bzj)$ , die Emissionen aus dem Auspuff, entnommen aus dem HBEFA3.1. Für Abriebe und Aufwirbelung wird angesetzt, dass diese vom Bezugsjahr unabhängig sind, also

$$e_{PM10}^{dAbr}(Bzj) = e_{PM10}^{dAbr} \quad \text{und} \quad (3.2)$$

$$e_{PM10}^{Auf}(Bzj) = e_{PM10}^{Auf} \quad . \quad (3.3)$$

Der Beitrag der Wiederaufwirbelung wird gebildet aus dem prinzipiell zur Verfügung stehenden Straßenstaub (= Emissionspotenzial  $e^{Pot}$ ). Dieser besteht aus deponierten Abrieben (ggf. auch aus größeren Partikeln durch mechanische und/oder chemischen Einflüssen gebildet) und von außen auf die Straße eingetragenen Partikeln also

$$e_{PM10}^{Pot} = e_{PM10}^{Reifen} + e_{PM10}^{Brems} + e_{PM10}^{Straße} + e_{PM10}^{Re.st} \quad (3.4)$$

Um dieses Staubpotenzial als PM10 aufzuwirbeln bedarf es kinetischer Energie durch die fahrzeugerzeugte Turbulenz (beschrieben durch eine Funktion  $F_{kin}$ ). Der Straßenzustand ( $F_{Zustand}$ ) und die Feuchte der Straßenoberfläche ( $F_{Regen}$ ) können ebenfalls diesen Term beeinflussen.

Messtechnisch ist es sehr schwierig, direkte und indirekte (wiederaufgewirbelte) Abriebsbeiträge zu separieren. Auch werden insbesondere für Reifenabrieb und Straßenabrieb ähnliche Abhängigkeiten bei direkter und indirekter Emission vorliegen. Aus diesen Gründen wird keine Entkopplung von direkten und indirekten Abriebsemissionen angesetzt.

Somit ergibt sich folgende Gleichung für die nichtauspuffbedingten PM10-Emissionen:

$$e_{PM10}^{Auf/Ab} = F_{Regen} \cdot F_{Zustand} \cdot F_{kin} \cdot (e_{PM10}^{Reifen} + e_{PM10}^{Brems} + e_{PM10}^{Straße} + e_{PM10}^{Re.st}) \quad (3.5)$$

Die Emissionsfaktoren für die Reifen- und Bremsabriebe könnten z. B. der CORINAIR-Emissionsfaktordatenbank (CORINAIR, 2007) oder RAINS (Lükewille et al., 2002) oder Ergebnissen von Freilanduntersuchungen (siehe oben) entnommen werden. Emissionsfaktoren für Straßenabriebe sind nach Aussage der Autoren sehr unsicher. Dies gilt auch für die wenigen Daten aus den oben beschriebenen Datenauswertungen. Aus diesem Grund wird wie bisher

vorgeschlagen, die Abriebe mit den nicht abriebsbedingten Anteilen ( $e^{\text{Rest}}$ ) zusammenzufassen und mittels Anpassung an Messdaten festzulegen. Hierzu bietet sich weiterhin die bisher praktizierte Vorgehensweise an, nach Verkehrssituationen klassifizierte Emissionsfaktoren getrennt nach Leicht- und Schwerverkehr (ähnlich dem Vorgehen wie bei der Berechnung der Auspuffemissionen mittels Handbuch für Emissionsfaktoren) zu verwenden („Emissionsfaktorenansatz“).

Als Regenkorrektur wäre ein Ansatz der US-EPA möglich. Die vorliegenden Untersuchungen aus Europa für befestigte Straßen zeigen allerdings zum Teil widersprechende Abhängigkeiten von der Regenmenge auf. Die örtlichen Regenhäufigkeiten (in Bezug auf Tagesniederschlagssummen größer 0.1 mm) variieren meist nur gering um einen Wert von 50 % in Gebieten, in denen relevanter Fahrzeugverkehr zu verzeichnen ist. Außerdem ist in den Emissionsfaktoren der **Tab. 3.18**, welche der Ableitung der Emissionsfaktoren zugrunde gelegt werden, der jeweilige Regeneinfluss bereits beinhaltet. Deshalb wird vorgeschlagen, weiterhin auf einen separaten Regenkorrekturfaktor zu verzichten.

Bzgl. der Abhängigkeit des kinetischen Kopplungsgliedes von der Fahrzeuggeschwindigkeit liegen weiterhin wenig und sehr widersprüchliche Informationen vor. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, weiterhin auf eine zusätzliche Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit zu verzichten, wenn der Ansatz von verkehrssituationsabhängigen Emissionsfaktoren angesetzt wird. Der Sonderfall von Geschwindigkeitsbeschränkungen auf 30 km/h wird auf Grundlage der Ergebnisse des SNIFFER-Projektes (Lohmeyer, 2009) gesondert behandelt. Hier wird vorgeschlagen, für Straßenabschnitte mit flüssigem Verkehrsfluss die nicht motorbedingte Emission um 20 % zu reduzieren. Für Straßenabschnitte mit dichten und gesättigten Verkehrsfluss sowie Stop&Go wird keine Veränderung angesetzt. Für Tempolimit 40 km/h wird vorgeschlagen, für Straßenabschnitte mit flüssigem Verkehrsfluss die nicht motorbedingte Emission um 10 % zu reduzieren. Für Straßenabschnitte mit dichten und gesättigten Verkehrsfluss sowie Stop&Go wird auch hier keine Veränderung angesetzt.

Die Straßenzustandskorrektur könnte sich an Ergebnissen von Feldstudien an Innerortsstraßen von Lohmeyer (2008) orientieren. Dort wurden Minderungen der nicht motorbedingten Partikel-Emission beim Übergang vom schlechten zum guten Straßenzustand von max. 20 % (Erfurt/Bergstraße), ca. 40 % (Leipzig/Lützner Straße) sowie ca. 70 % (Nauen/Berliner Straße) abgeschätzt.

Station	Qualitätsklasse	Jahr	DTV [Kfz/24h]	LKW Anteil	Verkehrssituation	LV-	SV-	Auspuffpartikel	PM1-	PM2.5-	LV-PM10-	SV-PM10-	PM10-	LV-PM10-	SV-PM10-	PM10-
						artikel mg/km	artikel mg/km				artikel mg/km	AufAb-Partikel mg/km				
Zürich/Rosengartenstr.	B	Jan-Mai 02	65000	0.059	Agglo/HV/S60/fluessig_8%	20	346	39	41		46	450	69	26	104	31
H/Göttinger Str.	A	2001	32000	0.080	Agglo/Sammel50/dicht	37	329	60					83			22
H/ Göttinger Str.	B	2007	33600	0.071	Agglo/HV/S60/dicht			40					80			20
H/ Göttinger Str.*	B	2007	33600	0.071	Agglo/HV/S60/dicht			40					54			14
Dresden/Bergstraße*	C	2003	19800	0.131	Agglo/Sammel50/dicht_6%	34	324	72					195			123
Dresden/Bergstraße	C	2005	20000	0.060	Agglo/HV/S60/fluessig_6%	36	245	48					97			48
Zürich/Weststraße	B	Ok. 02-März 03	21000	0.061	Agglo/FemStr-City/50/dicht	18	287	34	35		85	600	116	67	313	82
Zürich/Weststraße	B	Febr./März 2007	21000	0.100	Agglo/FemStr-City/50/dicht	21	192	36	27		32	364	67	11	192	29
Aue/Bahnhofstr.	C	2000	10000	0.050	Agglo/FemStr-City/50/dicht	30	286	43					142			89
Neuenf./Langemarckstr.	B	2000	42000	0.061	Agglo/Sammel50/gesaettigt	34	347	60					137			77
R./Holbeplatz	B	2000	52000	0.110	Agglo/Sammel50/gesaettigt	34	347	69					116			47
Wittenb./Dessauer St.	C	2000	13700	0.140	Agglo/Sammel50/gesaettigt	34	347	78					150			72
Goritz/Zeppeinstr.	C	2000	21000	0.080	Agglo/Sammel50/gesaettigt	34	347	59					228			169
Goritz/Zeppeinstr.	C	2002	24900	0.049	Agglo/Sammel50/gesaettigt	33	290	46					263			247
Kiel/Westring	B	2000	34000	0.035	Agglo/Sammel50/gesaettigt	34	347	45					36			-10
Stuttgart Mitte	B	2001	63300	0.023	Agglo/Sammel50/gesaettigt	34	320	41					73			32
Nbg./Am Pferdemarkt	B	2000	49500	0.100	Agglo/Erschliessung40/gesaettigt	43	410	79					246			166
Zürich/Schimmelstr.	B	Jan-Mai 02	27700	0.069	Agglo/Erschliessung40/gesaettigt	22	461	52			141	1170	212	119	709	160
Leipzig/Lützner Straße*	B	04-11/2004	26900	0.041	Agglo/Erschliessung30/stop+go	40	272	49					171			122
Leipzig/Lützner Straße*	B	06-11/2006	20400	0.039	Agglo/Erschliessung30/stop+go	37	240	44					124			79
Neuen/Berliner Str.	B	2000	19100	0.071	Agglo/Erschliessung40/gesaettigt	43	410	89					227			158
Neuen/Berliner Str.	B	2001	16200	0.067	Agglo/Erschliessung40/gesaettigt	43	378	65					172			107
Neuen/Berliner Str.	B	2002	17650	0.067	Agglo/Erschliessung40/gesaettigt	22	461	51					342			290
Neuen/Berliner Str.	B	2003	11950	0.050	Agglo/FemStr-City/50/dicht	28	228	38					161			143
B./Frankfurter Allee*	B	Juli-Ok. 1999	62300	0.049	Agglo/Sammel50/gesaettigt	35	365	52			86	917	126	51	532	74
B./Frankfurter Allee	B	2000	62300	0.049	Agglo/Sammel50/gesaettigt	34	347	49					132			82
B./Frankfurter Allee	B	2004	60200	0.026	Agglo/Sammel50/gesaettigt	37	266	43					120			77
B./Schildhornstraße	B	2000	43200	0.056	Agglo/Sammel50/gesaettigt	34	347	52					70			18
B./Schildhornstraße	B-C	Nov-Dez 2000	43200	0.056	Agglo/Sammel50/gesaettigt	34	347	52			84	900	111	30	553	59
B./Schildhornstraße	B	2005	40800	0.059	Agglo/Sammel50/gesaettigt	37	253	50					72			23
B./Schildhornstraße	B	2005	40800	0.059	Agglo/Sammel50/gesaettigt	34	231	46					58			13
Bremen/Neuenländer Str.	B	06-09/2005	40500	0.092	Agglo/FemStr-City/50/dicht	30	205	46					206			160
Cottbus/Bahnhofstr.	B	1998	23200	0.067	Agglo/Sammel50/gesaettigt	35	429	61					222			161
Cottbus/Bahnhofstr.	B	1999	27100	0.056	Agglo/Sammel50/gesaettigt	35	365	54					209			155
Cottbus/Bahnhofstraße	B	2003	24733	0.032	Agglo/FemStr-City/50/gesaettigt			32					108	39	1059	76
Cottbus/Bahnhofstraße	B	2004	25677	0.036	Agglo/FemStr-City/50/gesaettigt			32					104	32	1302	72
Cottbus/Bahnhofstraße	B	2005	25403	0.036	Agglo/FemStr-City/50/gesaettigt			33					115	51	941	82
Cottbus/Bahnhofstraße	B	2006	25187	0.036	Agglo/FemStr-City/50/gesaettigt			30					121	65	975	90
Cottbus/Bahnhofstraße	B	2007	24944	0.036	Agglo/FemStr-City/50/gesaettigt			28					98	38	1438	70
Cottbus/Bahnhofstraße	B	2010	22710	0.048	Agglo/FemStr-City/50/gesaettigt			24		50			67			43
Frankfurt-O./Leipziger Straße	B	1998	34300	0.061	Agglo/Sammel50/gesaettigt	35	429	59					218			159
Frankfurt-O./Leipziger Straße	B	2004	28646	0.066	Agglo/FemStr-City/50/dicht			30					148			118
Frankfurt-O./Leipziger Straße	B	2005	28412	0.064	Agglo/FemStr-City/50/dicht			31					124			93
Frankfurt-O./Leipziger Straße	B	2006	28177	0.063	Agglo/FemStr-City/50/dicht			29					95			66
Frankfurt-O./Leipziger Straße	B	2007	26998	0.066	Agglo/FemStr-City/50/dicht			27					57			31
Potsdam/H.-Thoma-Str.	B	1998	14700	0.048	Agglo/Sammel50/gesaettigt	35	429	53					178			125
Potsdam/H.-Thoma-Str.	B	1999	15200	0.052	Agglo/Sammel50/gesaettigt	35	385	53					201			148
Potsdam/Zeppeinstraße	B	2004	32107	0.052	Agglo/FemStr-City/50/dicht			31					125			85
Potsdam/Zeppeinstraße	B	2005	31525	0.053	Agglo/FemStr-City/50/dicht			32					117		871	85
Potsdam/Zeppeinstraße	B	2006	31051	0.053	Agglo/FemStr-City/50/dicht			30					116	63	923	86
Potsdam/Zeppeinstraße	B	2007	28256	0.060	Agglo/FemStr-City/50/dicht			29					71	25	735	42
Stg./Am Neckartor*	A	Nov. 2006 bis März 2007	87200	0.035	Agglo/FemStr-City/50/d.g.f			25	20				41	5	315	16
Stg./Cannstatter Str.	A	Nov. 2006 bis März 2007	105900	0.035	Agglo/FemStr-City/60/fluessig			25	28	33						53
H/Habichtstraße	B	2008	45972	0.041	Agglo/FemStr-City/50/dicht			22								26

Tab. 3.18: Zuordnung der vorliegenden Messdaten zu den Verkehrssituationen des HBEFA3.1 sowie abgeleitete PM10-Gesamt-, Auspuff- sowie Aufwirbelung- und Abriebemissionsfaktoren. schlecht = schlechter Straßenzustand; x% = Längsneigung in Prozent. \*=Rückrechnung mittels Ausbreitungsmodell sonst NO<sub>x</sub>-Tracermethode.

Insgesamt wurde festgestellt, dass durch die Sanierung von im Sinne der PM10-Emissionsmodellierung schlechten Fahrbahnen und Gehwegen an allen drei untersuchten Straßen eine PM10-Minderung abgeleitet werden konnte, die Höhe der absoluten Minderung aber wahrscheinlich von weiteren Randbedingungen (Ausgangszustand, Fahrzeuggeschwindigkeit, Längsneigung) abhängig ist. Auch Bukuwiecki et al. (2009) schlussfolgerten aus ihren Untersuchungen einen Einfluss des Fahrbahnzustandes auf die Straßenabriebsemissionen. Andere systematische Feldversuche zu dieser Problematik sind uns nicht bekannt.

In Ermangelung von konkreten messtechnisch erfassten Abhängigkeiten zwischen Straßenzustand und nicht auspuffbedingten Emissionen kann derzeit keine Korrektur-Funktion angesetzt werden. Es wird vorgeschlagen, dass in Anlehnung an den Mittelwert der obigen Ergebnisse für Straßen im guten Zustand ein Wert 1, für Straßen im schlechten Zustand ein Wert von 2 verwendet wird. Hier ist weiterhin dringender Forschungsbedarf gegeben. Es wird also angesetzt:

$F_{kin} = 1$  für LOS = flüssig, dicht, gesättigt und Stop&Go und Tempolimit größer/gleich 50 km/h

$F_{kin} = 0.9$  für LOS = flüssig und Tempolimit 40 km/h

$F_{kin} = 0.8$  für LOS = flüssig und Tempolimit 30 km/h

$F_{Zustand} = 1$  für Straßen im guten (Standardanwendung) und 2 im schlechten Zustand.

Für die Festlegung der Emissionsfaktoren für die Summe aus Reifen-, Brems-, und Straßenabrieb sowie Wiederaufwirbelung von eingetragenen Straßenstaub können folgende wesentliche Ergebnisse aus den vorangegangenen Untersuchungen berücksichtigt werden:

Die Emissionsfaktoren für die *Autobahn- und Außerortsverkehrssituationen* werden dabei aus den Ergebnissen des Forschungsprojektes FE 02.0255/2004/LRB für die Bundesanstalt für Straßenwesen (Lohmeyer, 2011a) zur Problematik von PM10-Emissionen an Außerortsstraßen übernommen (siehe Abschnitt 3.2.9).

Für die Festlegung der Emissionsfaktoren für *Innerortsverkehrssituationen* werden die nachfolgend aufgeführten Aspekte berücksichtigt. Hierbei wird wegen der Vergleichbarkeit zu den Ansätzen in Düring und Lohmeyer (2004) die Zuordnung der mittels HBEFA3.1 ermittelten bzw. aktualisierten Emissionsfaktoren zunächst zu den „alten“ Verkehrssituationen des HBEFA2.1 durchgeführt. Anschließend erfolgt die Zuordnung zu den „neuen“ Verkehrssituationen des HBEFA3.1:

- Für die Verkehrssituation HVS1 wurden die mittels HBEFA3.1 aktualisierten Emissionsfaktoren der EMPA verwendet. Diese liegen etwas niedriger als für die Außerortsverkehrssituationen (15 bis 25 %). Eventuell führen die Außerorts deutlich höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten (mehr Abriebe) sowie die dort meist unbefestigten Randbereiche (mehr Staubpotenzial) gegenüber den vergleichbaren Innerortsstraßen zu dieser Erhöhung.
- Für die Verkehrssituationen HVS3/LSA1 wird der (gerundete) Mittelwert aus den Messdaten der EMPA, von Stuttgart/Am Neckartor sowie der Mittelwert aller Bezugsjahre für die Zeppelinstraße in Potsdam verwendet.
- Für die Verkehrssituation LSA2 lagen nur wenige nach Leicht- und Schwerverkehr differenzierte aber dafür eine Vielzahl von flottenmittleren Emissionsfaktoren vor (**Tab. 3.17** und **Tab. 3.18**). Die EMPA hat diese Verkehrssituation nicht vermessen. Variationsrechnungen haben ergeben, dass die vorliegenden Gesamtemissionsfaktoren gut mit den für LSA2 in **Tab. 3.19** angegebenen Emissionsfaktoren beschrieben werden können.
- Für die Verkehrssituation HVS2 und HVS4 lagen keine nach Leicht- und Schwerverkehr differenzierten Emissionsfaktoren vor. Für HVS2 wurden die Werte für HVS1 verwendet. Für HVS4 wurde zwischen HVS3 und LSA2 „interpoliert“, um keine extremen Sprünge zwischen den Verkehrssituationen auftreten zu lassen. Die Göttinger Straße wird mit einer Kombination von HVS2 und HVS4 beschrieben. Die Situation an der Göttinger Straße kann gut mit den vorgeschlagenen Emissionsfaktoren für HVS2 und HVS4 beschrieben werden.
- Für die Verkehrssituation LSA3 wurden Emissionsfaktoren festgelegt, welche die entsprechenden PM10-Gesamtemissionsfaktoren im Mittel am besten beschreiben. Diese liegen von allen nicht auspuffbedingten Emissionsfaktoren weiterhin am höchsten. Dies scheint auch nach derzeitigem Verständnis plausibel, da im direkten Bereich von Lichtsignalanlagen aufgrund von häufigeren Beschleunigungsvorgängen mit höheren Abriebemissionen gerechnet werden muss, als in Bereichen mit mehr Konstantfahrten.

Der Vergleich zwischen „neuen“ und „alten“ Emissionsfaktoren zeigt für die Innerortsverkehrssituationen mit flüssigen Verkehrsfluss (HVS1, HVS2) bei einem Schwerverkehrsanteil von 5 % ca. 4 bzw. 32 % geringere Werte. Bei dichten oder gesättigten Verkehr werden nun-

mehr ca. 14 bis 18 % geringere Werte zum Ansatz gebracht. Mit abnehmendem SV-Anteil nimmt der Unterschied bei dichten und gesättigten Verkehrsfluss gegenüber dem Ansatz nach HBEFA2.1 zu. Bei flüssigem Verkehrsfluss ist dies umgekehrt.

Weiterhin kann auch mit **Tab. 3.19** ein Vergleich zu CORINAIR und zum US-EPA-Modell geführt werden. Während bei den Verkehrssituationen mit flüssigem Verkehrsfluss allein mit CORINAIR die „neuen“ Aufwirbelungs- und Abriebsemissionsfaktoren beschrieben werden könnten, so werden diese für sehr schlechten Verkehrsfluss durch die Summe aus CORINAIR und US-EPA unterschätzt. Eine Verwendung dieser Emissionsfaktoren drängt sich hiermit nicht auf.

Die Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abriebe aus **Tab. 3.19** werden auf Grundlage der Zuordnungsmatrix aus **Tab. 2.3** sowie unter Beachtung von ähnlichen Standanteilen entsprechend **Tab. 3.20** den Verkehrssituationen des HBEFA3.1 im FIS sowie allen Verkehrssituationen des HBEFA3.1 entsprechend **Tab. 3.21** zugeordnet.

SV-Anteil= 5.0%

„alt“ nach HBEFA2.1			„neu“ nach HBEFA3.1			1-Neu/alt		CORINAIR	CORINAIR	CORINAIR	US-EPA (2011)	CORINAIR +US-EPA	Abweichung zu Efaktorsatz
LV	SV	Flotte	LV	SV	Flotte			LV	SV	Flotte	Flotte	Flotte	
HVS>50	22	200	31	30	130	35	13%				35	54	55%
HVS1	22	200	31	26	100	30	-4%				35	65	120%
HVS2	30	300	44	26	100	30	-32%				35	67	124%
HVS3/LSA1	40	380	57	33	350	49	-14%				35	68	38%
HVS4	50	450	70	35	500	58	-17%				35	69	18%
LSA2	60	600	87	40	700	73	-16%				35	69	-6%
LSA3	90	800	126	45	1200	103	-18%				35	69	-33%

Tab. 3.19: PM10-Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abriebe [mg/km] in Abhängigkeit von den Verkehrssituationen differenziert nach Leichtverkehr (LV) und Schwerverkehr (SV) sowie flottenmittlere Emissionsfaktoren für einen SV-Anteil von 5 %. Zusätzlich sind die Emissionsfaktoren nach CORINAIR (Abriebe) und US-EPA (Staubaufwirbelung) mit aufgeführt sowie deren Summe. Erläuterung siehe Text.

<b>HBEFA2.1</b>	<b>HBEFA3.1</b>	<b>Anteil HBEFA3.1</b>	<b>PM10 Auf/Ab für LV</b>	<b>PM10 Auf/Ab für SV</b>
			<b>mg/km</b>	<b>mg/km</b>
AB>120	Land/AB/130/fluessig	100 %	30	130
AB_100	Land/AB/100/fluessig	100 %	30	130
AB_80	Land/AB/80/fluessig	100 %	30	130
AO_1	Land/FernStr/80/fluessig	100 %	30	130
AO_2	Land/FernStr/70/fluessig	100 %	30	130
AO_3	Land/HVS-kurv./80/fluessig	100 %	30	130
IO_HVS>50_2	Agglo/FernStr-City/50/fluessig	100 %	26	100
IO_HVS1	Agglo/HVS/60/fluessig	100 %	26	100
IO_HVS2	Agglo/HVS/50/fluessig	100 %	26	100
IO_HVS3	Agglo/FernStr-City/50/dicht	100 %	33	350
IO_HVS4	Agglo/Sammel/50/dicht	100 %	33	350
IO_LSA1	Agglo/FernStr-City/50/dicht	100 %	33	350
IO_LSA2	Agglo/Sammel/50/gesaettigt	100 %	40	700
IO_LSA3	Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt	100 %	45	1200
IO_Kern	Agglo/Sammel/50/gesaettigt	60 %	40	700
	IO-StGo	40 %	45	1200
IO_Nebenstr_ dicht	Agglo/Erschliessung/30/gesaettigt	60 %	45	1200
	IO-StGo	40 %	45	1200

Tab. 3.20: Zuordnung der nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren zu den Verkehrssituationen im FIS

<b>HBEFA3.1</b>	<b>PM10 Auf/Ab für LV</b>	<b>PM10 Auf/Ab für SV</b>
	<b>mg/km</b>	<b>mg/km</b>
Alle ländlichen VS unabhängig vom Tempolimit und LOS	30	130
Agglo/AB/, Agglo/Semi-AB/ unabhängig vom Tempolimit und LOS	30	130
Agglo/HVS/xx/flüssig unabhängig von Tempolimit	26	100
Agglo/HVS/xx/dicht unabhängig von Tempolimit	33	350
Agglo/HVS/xx/gesättigt unabhängig von Tempolimit	35	500
Agglo/HVS/xx/StGo unabhängig von Tempolimit	45	1200
Agglo/Sammel/xx/flüssig unabhängig von Tempolimit	26	100
Agglo/Sammel/xx/dicht unabhängig von Tempolimit	33	350
Agglo/Sammel/xx/gesättigt unabhängig von Tempolimit	40	700
Agglo/Sammel/xx/StGo unabhängig von Tempolimit	45	1200
Agglo/Erschliessung/30/flüssig	26	280
Agglo/Erschliessung/40/flüssig	30	320
Agglo/Erschliessung/xx/flüssig für Tempolimit größer/gleich 50km/h	33	350
Agglo/Erschliessung/xx/dicht unabhängig vom Tempolimit	35	500
Agglo/Erschliessung/xx/gesättigt unabhängig vom Tempolimit	45	1200
Agglo/Erschliessung/xx/StGo unabhängig vom Tempolimit	45	1200
Agglo/Fernstr.-City/xx/flüssig unabhängig vom Tempolimit	26	100
Agglo/Fernstr.-City/xx/dicht unabhängig vom Tempolimit	33	350
Agglo/Fernstr.-City/xx/gesättigt unabhängig vom Tempolimit	40	700
Agglo/Fernstr.-City/xx/StGo unabhängig vom Tempolimit	45	1200

Tab. 3.21: Zuordnung der nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren zu allen Verkehrssituationen des HBEFA3.1. xx steht für alle im HBEFA3.1 möglichen Tempolimits größer/gleich 50 km/h

### 3.8 Vergleich mit Messdaten

#### 3.8.1 Emissionen

Die **Abb. 3.7** zeigt den Vergleich der flottenmittleren PM10-Gesamtemissionen (Auspuff nach HBEFA3.1 sowie PM10-Auf/Ab nach **Tab. 3.21**) mit denen aus Messdaten für Innerortsstraßen mit gutem Straßenzustand abgeleiteten. Bei mehrjährigen Zeitreihen wurde im Allgemeinen das Bezugsjahr aus den Untersuchungen aus Lohmeyer (2004) sowie der aktuellste Wert verwendet. Wichtige Datensätze wurden bzgl. deren Örtlichkeit und des Bezugsjahres gekennzeichnet.

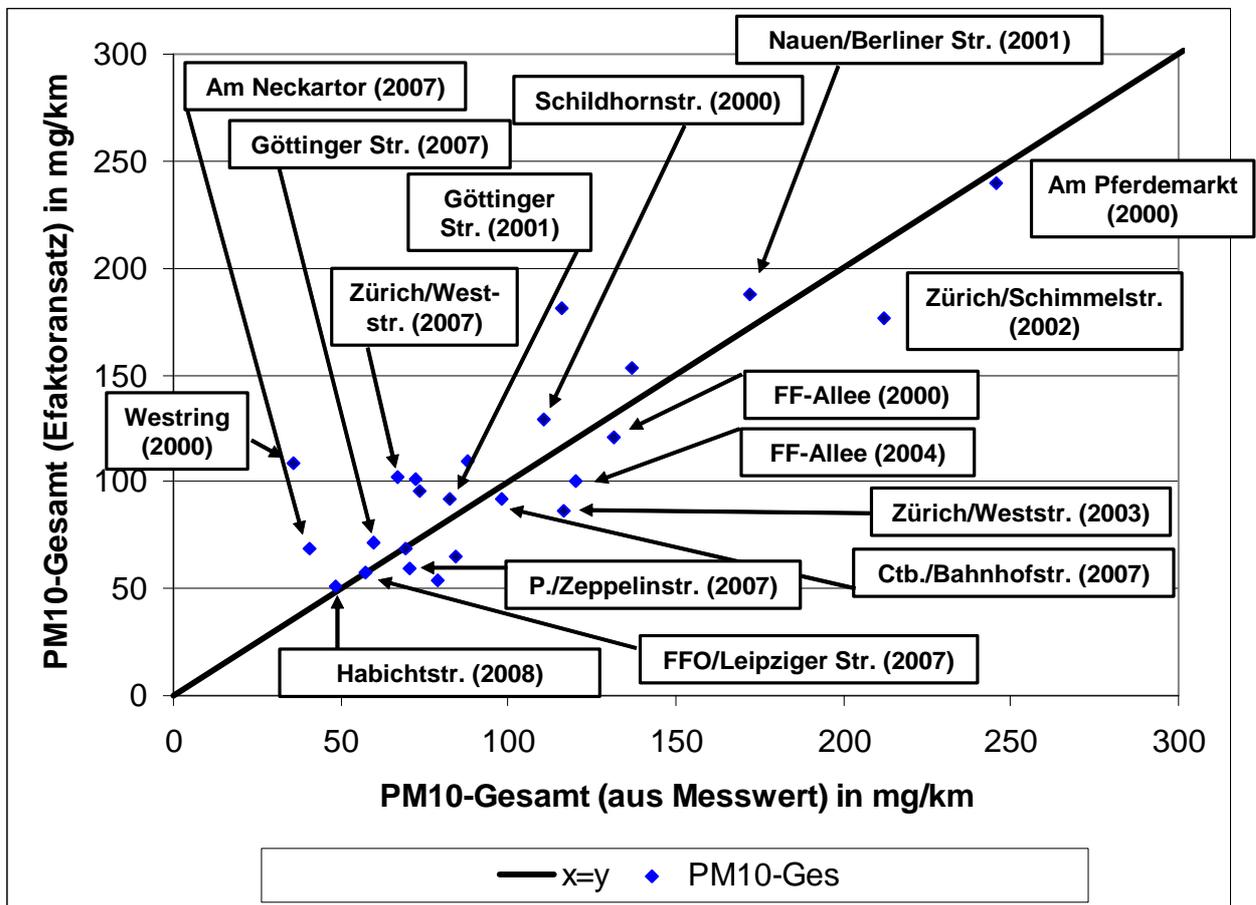


Abb. 3.7: Vergleich der PM10-Gesamtemissionsfaktoren mit denen aus der Summe von Auspuffpartikeln (HBEFA3.1) und den nicht motorbedingten PM10-Emissionen entsprechend **Tab. 3.21** für Qualitätsklasse A und B. Bei mehrjährigen Zeitreihen wurde im Allgemeinen das Bezugsjahr aus den Untersuchungen aus Lohmeyer (2004) sowie der aktuellste Wert verwendet. (Werte in Klammern=Bezugsjahr der Messung)

Es ist zu erkennen, dass die Übereinstimmung befriedigend ist. Die Werte streuen um die x=y-Linie. Die Abweichung der berechneten von denen aus den Immissionsdaten abgeleiteten PM10-Gesamtemissionen liegt bei kleiner 60 % (mit Ausnahme Kiel/Westring im Bezugsjahr 2000).

### 3.8.2 Immissionen

Weiterhin wurden mit Hilfe der abgeleiteten Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb sowie den jeweiligen Auspuffemissionsfaktoren des HBEFA3.1 Ausbreitungsberechnungen mit dem prognostischen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM durchgeführt. Die Verkehrsdaten sowie die Hintergrundbelastungen lagen Bezugsjahr bezogen vor. Die Verkehrssituationen wurden vor Ort erhoben. Als meteorologische Eingangsdaten wurden langjährige Ausbreitungsklassenstatistiken (außer Stg./Am Neckartor, dort Winddaten aus dem Messzeitraum) verwendet. Eine Zusammenstellung der relevanten Eingangsdaten sowie der berechneten NO<sub>x</sub>- und PM10-Jahresmittelwerte ist in **Tab. 3.22** aufgeführt.

Messstelle	Bezugsjahr	SV-Anteil in %	PM10-VB in µg/m	PM10-GB (MISKAM) in µg/m	PM10-GB (Messung) in µg/m	NO <sub>x</sub> -VB in µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>x</sub> -GB (MISKAM) in µg/m	NO <sub>x</sub> -GB (Messung) in µg/m
Ctb./Bahnhofstraße	2010	4.8	26	33 (-3 %)	34	24	88 (-7 %)	95
Stg./Am Neckartor	2007	3.5	26	60 (+20 %)	50	69	348 (+8 %)	321
DD-Nord	2007	4.6	26	32 (+14 %)	28	33	80 (+5 %)	76
DD-Nord	2009	6.0	26	32 (+7 %)	30	33	93 (+16 %)	80
C./Leipziger Straße	2005	5.6	24	35 (+3 %)	34	43	183 (+14 %)	161
C./Leipziger Straße	2009	3.0	21	29 (0 %)	29	46	128 (+3 %)	124
FFO./Leipziger Straße	2010	2.4	26	34 (-10 %)	38	22	92 (+1 %)	91

Tab. 3.22: Vergleich der mit MISKAM berechneten PM10- und NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerte für mehrere Messstellen. Werte in Klammern sind die relativen Abweichungen der berechneten von den gemessenen Jahresmittelwerten.

Die Abweichungen zwischen den Modellrechnungen und den NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerten liegen bei -7 % bis +16 %. Die Genauigkeit der Ausbreitungsmodellierung kann als gut bewertet werden. Die berechneten PM10-Jahresmittelwerte weichen um -10 % und +20 % von gemessenen ab. Dies liegt im Bereich der Abweichungen beim NO<sub>x</sub> und kann ebenfalls mit gut bewertet werden.

#### 4 SYSTEMATISIERUNG UND EINFÜHRUNG DER NICHT MOTORBEDINGTEN EMISSIONSFAKTOREN FÜR PM2.5 ENTSPRECHEND AKTUELLER FORSCHUNGEN

Die folgenden Ausführungen geben den derzeitigen Stand der Ergebnisse der Untersuchungen zu den nicht motorbedingten PM2.5-Emissionen des Kfz-Verkehrs aus den parallel laufenden F&E-Projekt „Verursacher, flächenhafte Belastung und Tendenzen für PM2.5 in Sachsen“ (Lohmeyer, 2010a) wieder. Für Details wird auf diesen Bericht verwiesen.

Untersuchungen der verkehrsbedingten Partikelmissionen zeigen, dass neben den Partikeln im Abgas auch nicht motorbedingte Partikelemissionen zu berücksichtigen sind, hervorgerufen z.B. durch Straßen- und Bremsbelagabrieb, Aufwirbelung von auf der Straße aufliegendem Staub etc. Diese Emissionen sind im HBEFA nicht enthalten, sie sind auch derzeit nicht mit zufriedenstellender Aussagegüte zu bestimmen. Die Ursache hierfür liegt in der Vielfalt der Einflussgrößen, die bisher noch nicht systematisch parametrisiert wurden und für die es derzeit auch keine verlässlichen Aussagen gibt.

Lohmeyer (2010a) empfehlen, die nicht motorbedingten PM2.5-Emissionen wegen fehlender systematischer Messwerte anders als beim PM10 auf Basis des detaillierten Ansatzes aus CORINAIR (2007) zu berechnen. Dieser Ansatz wurde für PM10 bereits im Abschnitt 3.2.5 beschrieben. Der Vollständigkeit halber wird er für PM2.5 noch mal aufgeführt:

Im Emission Inventory Guidebook von EMEP/CORINAIR (Stand 2007) werden PM<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren für Abriebe angegeben. Diese basieren auf der Empfehlung einer Arbeitsgruppe, welche anhand von Literaturlauswertungen aus dem Jahr 2003 Methoden für deren Berechnung erarbeitet hat. Eine Differenzierung in die verschiedenen Verkehrssituationen ist durch eine dort angegebene Abhängigkeit von der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit (für Reifen und Bremsabrieb) möglich.

Für die Berücksichtigung von *Reifenabrieb* wird von den Autoren Folgendes vorgeschlagen:

$$EF_{\text{Reifen}} [\text{mg}/(\text{Fzg} \cdot \text{km})] = f_{\text{Reifen}} EF_{\text{TSPReifen}} S_{\text{Reifen}} (v) \quad (4.1)$$

$f_{\text{Reifen}}$  = Anteil der Partikelfraktion an TSP

$EF_{\text{TSPReifen}}$  = TSP-Emissionsfaktor Reifenabrieb bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h

$S_{\text{Reifen}} (v)$  = Geschwindigkeitskorrekturfaktor, welcher von der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt

mit

$$\begin{aligned} v < 40 \text{ km/h:} & \quad S_{\text{reifen}}(v) = 1.39 \\ 40 \text{ km/h} \leq v \leq 90 \text{ km/h:} & \quad S_{\text{reifen}}(v) = -0.00974 \cdot v + 1.78 \\ v > 90 \text{ km/h:} & \quad S_{\text{reifen}}(v) = 0.902 \end{aligned}$$

Für  $EF_{\text{TSPReifen}}$  werden in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse folgende Größen vorgeschlagen:

Reifenabrieb	$EF_{\text{TSPReifen}}$ [mg/km]
PKW:	10.7
Leichte Nutzfahrzeuge:	16.9
Schwere Nutzfahrzeuge:	45.0*
Motorräder:	4.6

\*(falls Anzahl der Achsen und Beladungsgrad nicht bekannt sind, sonst

$$EF_{\text{TSPReifen}}(\text{LKW}) = \text{Anzahl Achsen} \cdot \text{LCF} \cdot EF_{\text{TSPReifen}}(\text{PKW})/2;$$

$$\text{LCF} = 1.38 \cdot \text{Beladungsgrad} + 1.41).$$

Wesentliche Festlegungen bei der Ableitung der Emissionen waren neben den aus der Literatur zusammengefassten Emissionsfaktoren für Gesamtstaub (TSP), Gesamtabrieb bzw. PM10 z. B. ein 10 %er Anteil PM10 am Gesamtreifenabrieb sowie ein 60 %er Anteil PM10 an TSP-Reifenabrieb. Die Ableitung für die Geschwindigkeits- bzw. für die Beladungskorrektur wurde nicht erläutert.

Die Parameter für die Partikelgrößen werden unabhängig von der Fahrzeugklasse wie folgt festgelegt:

TSP	:	$f_{\text{Reifen}} = 1.000$
PM10	:	$f_{\text{Reifen}} = 0.600$
PM2.5	:	$f_{\text{Reifen}} = 0.420$
PM1	:	$f_{\text{Reifen}} = 0.060$
PM0.1	:	$f_{\text{Reifen}} = 0.048$

Die **Abb. 4.1** zeigt beispielhaft die PM10-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit. Für PM2.5 sind die Verläufe analog. Es ist festzustellen, dass bei niedrigen Fahrzeuggeschwindigkeiten, wie sie z. B. im Stadtverkehr gefahren werden, hö-

here Reifenabriebsemissionen angesetzt werden als bei höheren (z. B. bei Tempo 30 ca. 36 % mehr als bei Tempo 80). Wahrscheinlich werden hier nicht reine Geschwindigkeitsabhängigkeiten im Sinne von Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit als Basis verwendet sondern die Bedingungen bei verschiedenen Verkehrszuständen. Dies wurde wie erwähnt allerdings nicht erläutert.

### Correlation between emission factors and mean trip speed

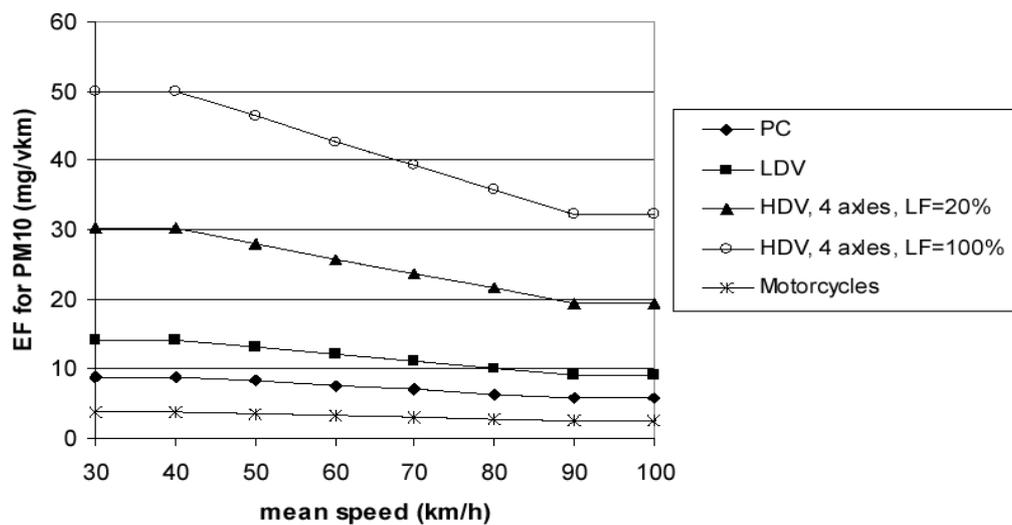


Abb. 4.1: Abhängigkeit der PM10-Emissionsfaktoren infolge *Reifenabrieb* von den Fahrzeuggeschwindigkeiten für die Fahrzeugklassen PKW (PC), leichte Nutzfahrzeuge (LDV), Schwerverkehr (HDV) mit 20 % bzw. 100 % Beladung (LF) sowie Motorräder. (Quelle: CORINAIR, 2007)

Für die Berücksichtigung von *Bremsabrieb* wird von den Autoren folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

$$EF_{\text{Brems}} [\text{mg}/(\text{Fzg} \cdot \text{km})] = f_{\text{Brems}} EF_{\text{TSPBrems}} S_{\text{Brems}}(v) \quad (4.2)$$

$f_{\text{Brems}}$  = Anteil der Partikelfraktion an TSP

$EF_{\text{TSPBrems}}$  = TSP-Emissionsfaktor Bremsabrieb bei einer Geschwindigkeit von 65 km/h

$S_{\text{Brems}}(v)$  = Geschwindigkeitskorrekturfaktor, welcher von der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt.

mit

$$v < 40 \text{ km/h:} \quad S_{\text{Brems}}(v) = 1.67$$

$$40 \text{ km/h} \leq v \leq 95 \text{ km/h:} \quad S_{\text{Brems}}(v) = -0.027 \cdot v + 2.75$$

$v > 95 \text{ km/h:}$

$$S_{\text{Brems}}(v) = 0.185$$

Für  $EF_{\text{TSPBrems}}$  werden in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse folgende Größen vorgeschlagen:

<b>Bremsabrieb</b>	$EF_{\text{TSPBrems}}$ [mg/km]
PKW:	7.5
Leichte Nutzfahrzeuge:	11.7
Schwere Nutzfahrzeuge:	32.7*
Motorräder:	3.7

\*(falls Beladungsgrad nicht bekannt ist, sonst

$$EF_{\text{TSPBrems}}(\text{LKW}) = 3.13 \cdot \text{LCF} \cdot EF_{\text{TSPBrems}}(\text{PKW});$$

$$\text{LCF} = 0.79 \cdot \text{Beladungsgrad} + 1.0$$

Die Parameter für die Partikelgrößen werden unabhängig von der Fahrzeugklasse wie folgt festgelegt:

TSP	:	$f_{\text{Brems}} = 1.00$
PM10	:	$f_{\text{Brems}} = 0.98$
PM2.5	:	$f_{\text{Brems}} = 0.39$
PM1	:	$f_{\text{Brems}} = 0.10$
PM0.1	:	$f_{\text{Brems}} = 0.08$

Die **Abb. 4.2** zeigt beispielhaft die PM10-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit. Für PM2.5 sind die Verläufe analog.

Wesentliche Festlegungen bei der Ableitung dieser Emissionsfaktoren waren neben den aus der Literatur zusammengefassten Emissionsfaktoren für TSP, Gesamtabrieb bzw. PM10 z. B. ein 50 %er Anteil PM10 am Gesamtbremsabrieb sowie ein 98 %er Anteil PM10 an TSP-Bremsabrieb. Die Ableitung für die Geschwindigkeits- bzw. für die Beladungskorrektur wurde hier ebenfalls nicht erläutert.

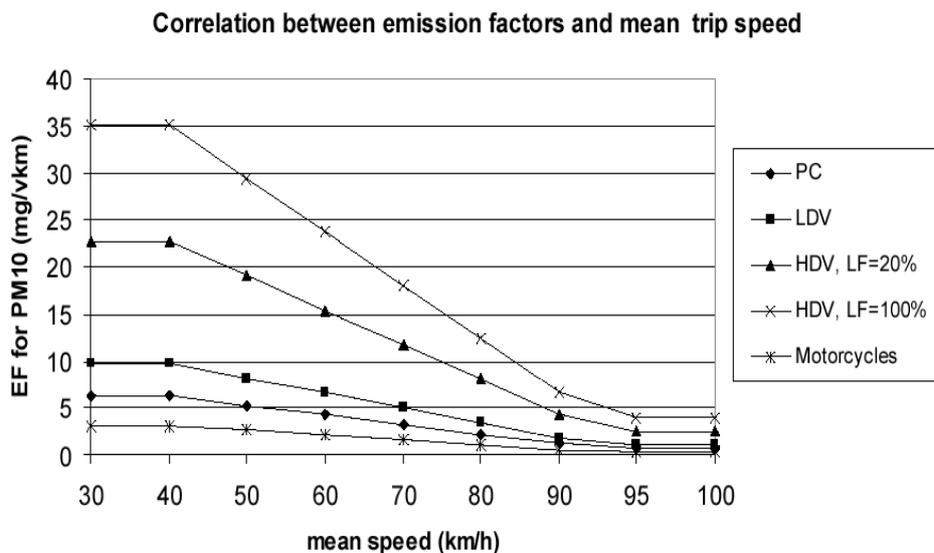


Abb. 4.2. Abhängigkeit der PM10-Emissionsfaktoren infolge *Bremsabrieb* von den Fahrzeuggeschwindigkeiten für die Fahrzeugklassen PKW (PC), leichte Nutzfahrzeuge (LDV), Schwerverkehr (HDV) mit 20 % bzw. 100 % Beladung (LF) sowie Motorräder (Quelle: CORINAIR, 2007)

Für den Straßenabrieb lagen lt. der Autoren nur sehr wenige Informationen vor. Hier wird auf die Arbeiten von Lükewille et al. (2002, siehe oben) verwiesen. Für  $EF_{TSP\text{Straße}}$  werden in Abhängigkeit von der Fahrzeugklasse folgende Größen vorgeschlagen:

<b>Straßenabrieb</b>	$EF_{TSP\text{Straße}}$ [mg/km]
PKW:	15.0
Leichte Nutzfahrzeuge:	15.0
Schwere Nutzfahrzeuge:	76.0
Motorräder:	6.0

Auf Grundlage des in Gleichung 4.1 und 4.2 dargestellten Geschwindigkeitseinflusses und der in HBEFA zur Beschreibung der Verkehrssituationen enthaltenen Angaben zur mittleren Reisegeschwindigkeit können die Emissionsfaktoren den Verkehrssituationen des HBEFA zugeordnet werden.

Für den Schwerverkehr sind die PM2.5-Emissionen auch von der Achszahl und dem Beladungsgrad abhängig. Der Beladungsgrad wird entsprechend HBEFA3.1 zu 0.5 (entspricht 50 %) angesetzt.

Die mittlere Achszahl der Schwerverkehrsfahrzeuge wird ebenfalls auf Basis des HBEFA berechnet. Dazu werden die Fahrleistungsanteile der Größenklassen auf Autobahn, Außer-

orts- und Innerortsstraßen verwendet. Die Achszahlen der Linien- und Reisebusse werden dabei direkt ausgewiesen. Die Achszahlen der LKW und Sattelzüge werden auf Basis des zulässigen Gesamtgewichts und der in der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung vorgeschriebenen Mindestachszahl abgeschätzt. Die Ergebnisse sind für die Bezugsjahre 1994 bis 2030 in den **Abb. 4.3** bis **Abb. 4.5** dargestellt.

Für alle Straßenkategorien ist ab etwa 2010 kein deutlicher Trend zu größeren Fahrzeugen (mehr Achsen) erkennbar. Aus dem Mittelwert der Verteilung werden für die Berechnung mittels CORINAIR (2007) deshalb für die Autobahnen und Außerortsstraßen 5 Achsen sowie für die Innerortsstraßen 3 Achsen unabhängig vom Bezugsjahr festgelegt.

Der Kupplungsanteil wird auch hier, wie in RAINS, zu Null gesetzt (siehe oben). Es wird auch hier von den Autoren darauf verwiesen, dass insbesondere die Emissionsfaktoren für Straßenabrieb wegen fehlender systematischer Untersuchungen mit sehr großen Unsicherheiten bewertet worden sind. Die Emissionsfaktoren nach CORINAIR (2007) sind als Summe aller Abriebe (Reifen, Bremsen und Straße) in **Abb. 4.6** und **Abb. 4.7** für die HBEFA3.1-Verkehrssituationen dargestellt und werden dementsprechend in das FIS übernommen.

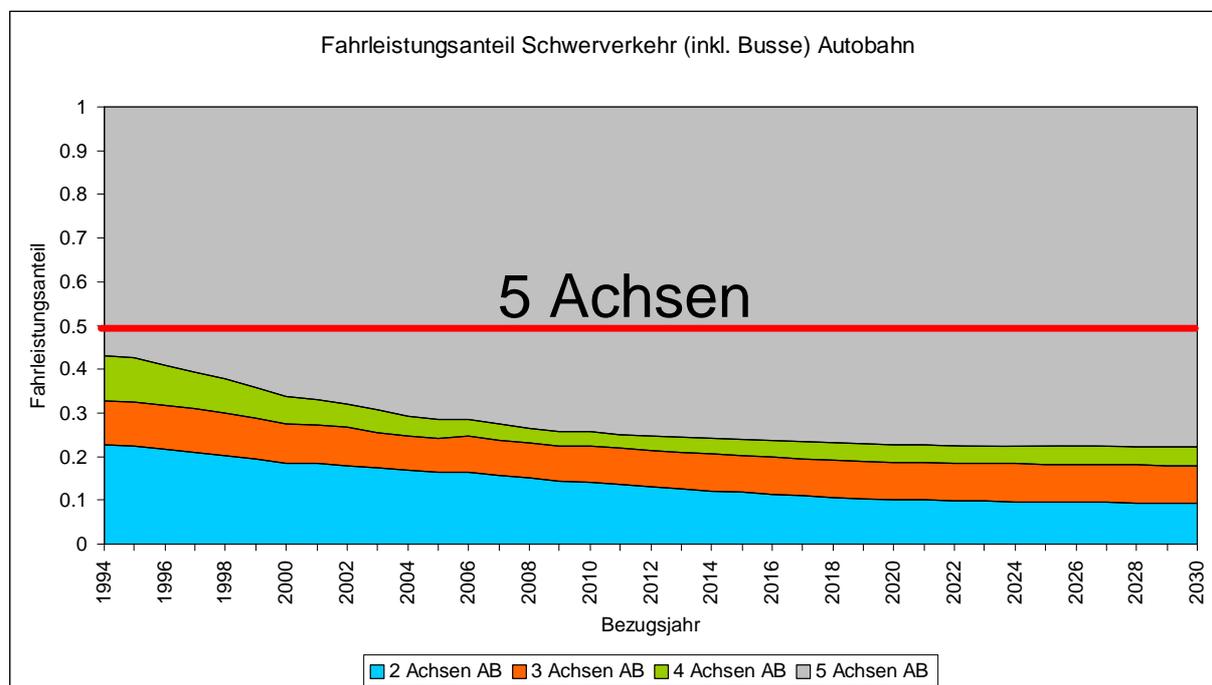


Abb. 4.3. Fahrleistungsanteile der Achszahl für den Schwerverkehr auf Autobahnen in Anlehnung an HBEFA3.1

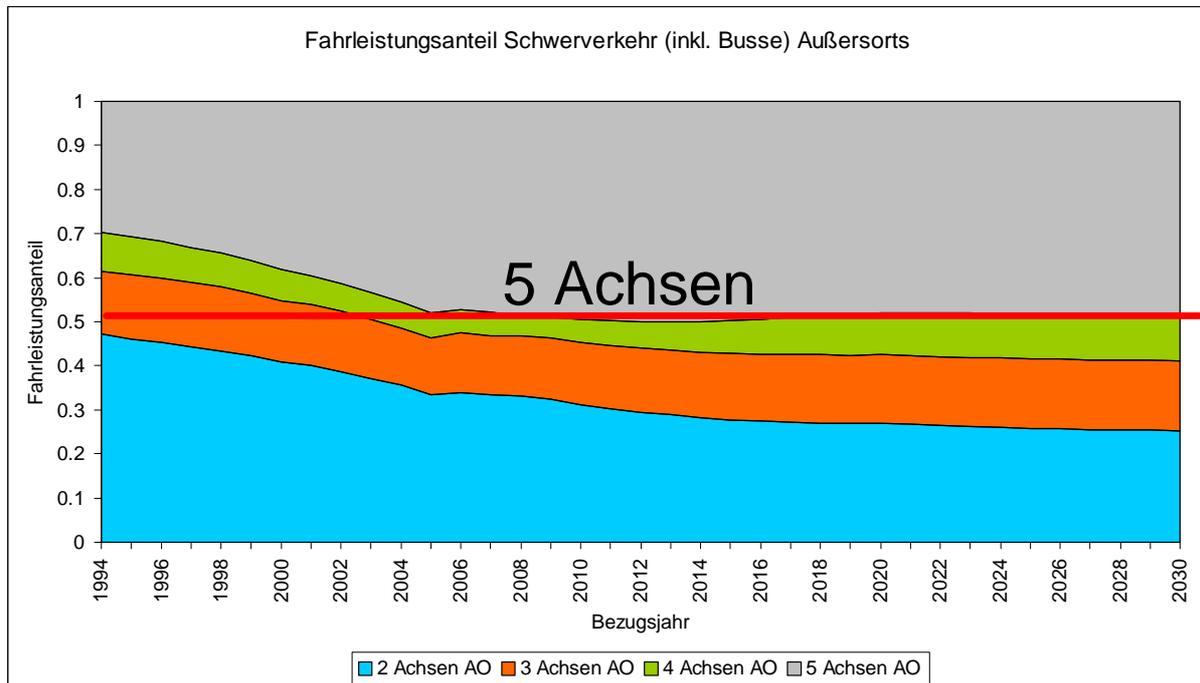


Abb. 4.4: Fahrleistungsanteile der Achszahl für den Schwerverkehr auf Außerortsstraßen in Anlehnung an HBEFA3.1

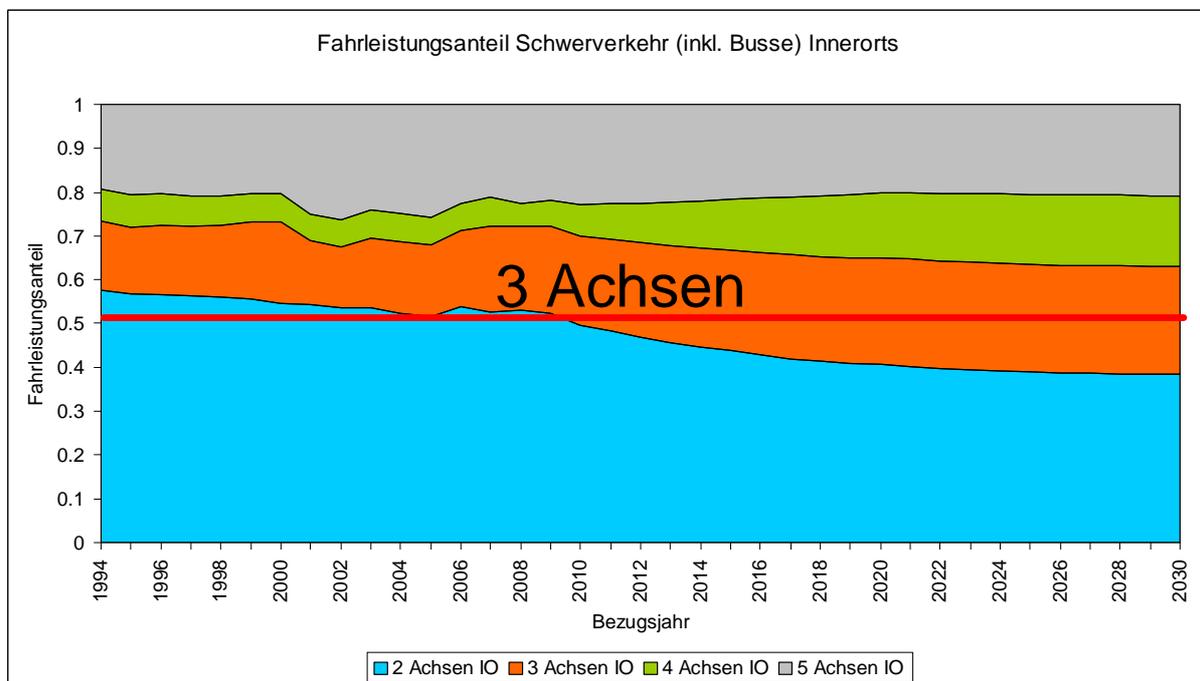


Abb. 4.5: Fahrleistungsanteile der Achszahl für den Schwerverkehr auf Innerortsstraßen in Anlehnung an HBEFA3.1

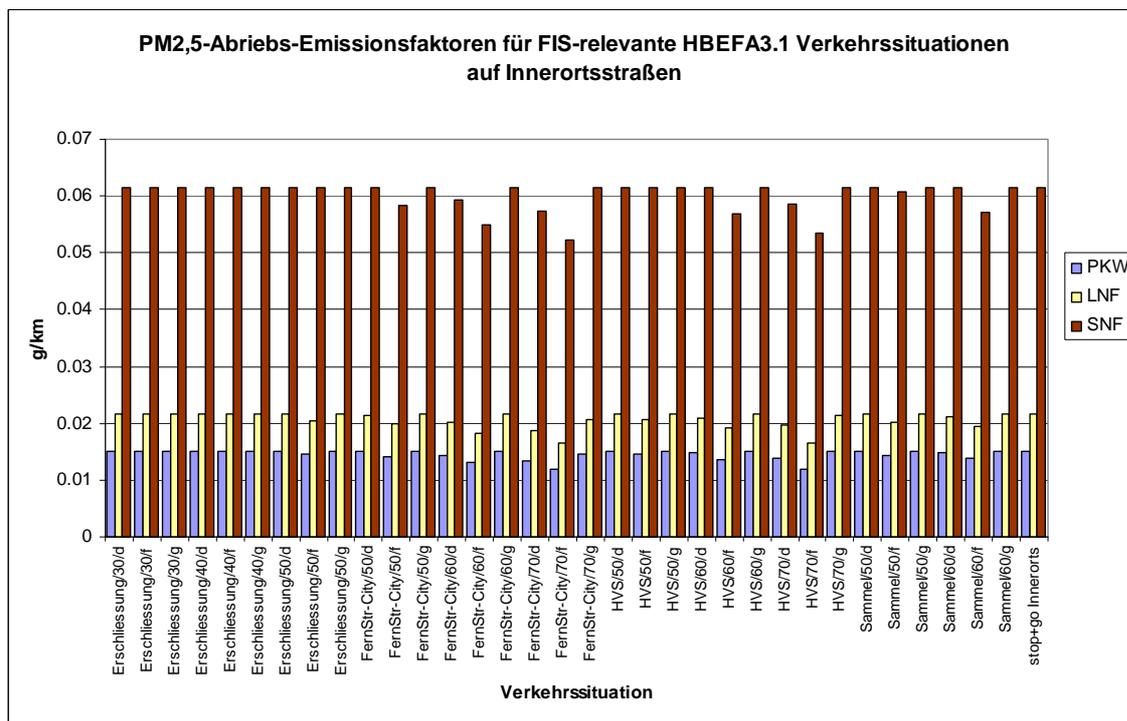


Abb. 4.6: Nicht motorbedingte PM<sub>2.5</sub>-Emissionsfaktoren für Abriebe entsprechend CORINAIR (2007) für HBEFA3.1 - Innerorts-Verkehrssituationen

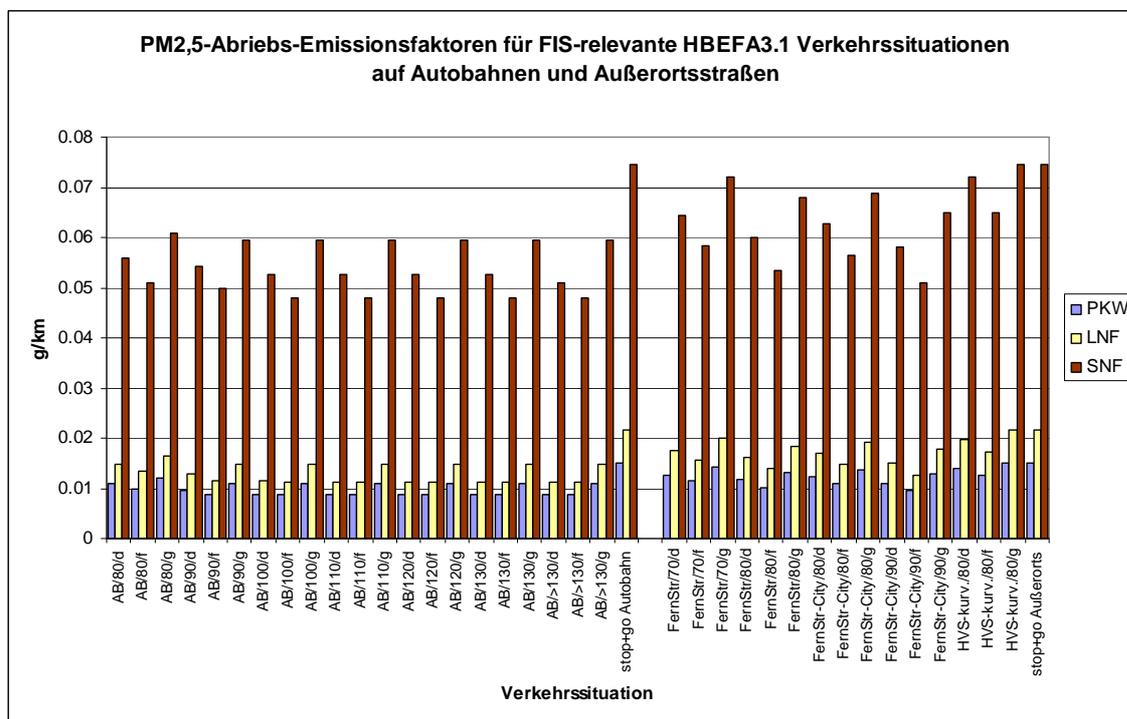


Abb. 4.7: Nicht motorbedingte PM<sub>2.5</sub>-Emissionsfaktoren für Abriebe entsprechend CORINAIR (2007) für HBEFA3.1 - Außerorts- und Autobahnverkehrssituationen

## **5 EINARBEITUNG DER NEUEN BERECHNUNGSSTRUKTUREN IN DIE VORHANDENE ORACLE-DATENBANK**

Hier sei auf das Handbuch des Fachinformationssystems FIS der BEAK Consultants GmbH verwiesen.

## 6 LITERATUR

39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV). S. 1065-1104. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2010 Teil I Nr. 40, ausgegeben zu Bonn am 5. August 2010.
- Bukowiecki, N.; Gehrig, R.; Lienemann, P.; Hill, M.; Figi, R.; Buchmann; B.; Furger, M.; Richard, A.; Mohr, C.; Weimer, S.; Prévôt, A.; Baltensperger, U. (2009): PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Straßenverkehrs (APART). Forschungsauftrag ASTRA 2005/007, Bundesamt für Strassen, August 2009.
- Boulter, P.G., Thorpe, A.J., Harrison, R.M. Allen, A.G. (2007): Road vehicle non-exhaust particulate matter: Final report on emission Modelling. TRL Limited.
- CORINAIR (2007): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2007. EEA (European Environment Agency). Publish date: 5 Dec 2007. In: Technical report No 16/2007.
- Düring, I., Lohmeyer, A. (2004): Modellierung nicht motorbedingter PM10-Emissionen von Straßen. KRdL-Experten-Forum „Staub und Staubinhaltsstoffe“, 10./11.11.2004, Düsseldorf. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, KRdL-Schriftenreihe Band 33. (Siehe auch [www.lohmeyer.de/aktuelles](http://www.lohmeyer.de/aktuelles)).
- EPA (2006): Compilation of Air pollutant Emission Factors. Vol. I: Stationary and area sources. AP 42. Section 13.2.1. Paved roads. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. 2006.
- EPA (2011): Compilation of Air pollutant Emission Factors. Vol. I: Stationary and area sources. AP 42. Section 13.2.1. Paved roads. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. 2011.
- Fitz, D. R. (2001): MEASUREMENTS OF PM<sub>10</sub> AND PM<sub>2.5</sub> EMISSION FACTORS FROM PAVED ROADS IN CALIFORNIA. Final Report Contract No. 98-723. California Air Resources Board Monitoring and Laboratory Division, 1001 I Street, Sacramento, CA 95812, 02-AP-18381-003-FR, June 2001.

- Gehrig, R., Buchmann, B. (2003): Characterising seasonal variations and spatial distribution of ambient PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> concentrations based on long-term Swiss monitoring data. *Atmospheric Environment* 37 (2003).
- Gidhagen, L., Johansson, H. and Omstedt, G. (2008): SIMAIR-Evaluation tool for meeting the EU directive on air pollution limits. *Atmospheric Environment*, doi:10.1016/j.atmosenv.2008.01.056.
- Karvosenoja, N. & Johansson, M. (2003): The Finnish regional emission scenario model - a base year calculation. In: Brebbia C.A. & Patania F. (eds.), *Proceedings of Air Pollution XI Conference*, Catania, Italy, WIT Press, Southampton, UK, pp. 315-324.
- Lohmeyer (2001): Validierung von PM<sub>10</sub>-Immissionsberechnung im Nahbereich von Straßen und Quantifizierung der Feinstaubbildung von Straßen. Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer, Radebeul. Projekt 2286C, Juni 2001. Gutachten im Auftrag von: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden. Herunterladbar unter [www.Lohmeyer.de/literatur.htm](http://www.Lohmeyer.de/literatur.htm)
- Lohmeyer (2003): Machbarkeitsstudie zu kombinierten Lärminderungs-/Luftreinhalteplänen in Brandenburg - Teil vergleichende Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der PM<sub>10</sub>-Belastungen - Wirkungsuntersuchungen zur OU Nauen. Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer, Radebeul. Projekt 2464. Dezember 2003. Gutachten im Auftrag von: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung Brandenburg, Potsdam.
- Lohmeyer (2004): Auswertung der Messungen des BLUMe während der Abspülmaßnahme am Abschnitt Frankfurter Allee 86. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70095-04-10, Dezember 2004. Gutachten im Auftrag von: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin.
- Lohmeyer (2004a): Berechnung der Kfz-bedingten Feinstaubemissionen infolge Aufwirbelung und Abrieb für das Emissionskataster Sachsen. Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer, Radebeul unter Mitarbeit der IFEU Heidelberg GmbH und der TU Dresden, Institut für Verkehrsökologie. Projekt 2546, November 2004. Gutachten im Auftrag von: Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden. Herunterladbar unter <http://www.lohmeyer.de/Literatur.htm>.

Lohmeyer (2005): Auswertung der Messungen des BLUES während der Abspülmaßnahme im Bereich der Messstation Neuenlander Straße in Bremen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70251-05-10, Dezember 2005. Gutachten im Auftrag von: Senator für Bau, Umwelt und Verkehr Bremen.

Lohmeyer (2008): Einfluss von Straßenzustand, meteorologischen Parametern und Fahrzeuggeschwindigkeit auf die PM<sub>x</sub>-Belastung an Straßen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul in Zusammenarbeit mit IFEU-Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH und Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften. Projekt 70227-05-10, Oktober 2008. Bericht im Auftrag von: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.

Lohmeyer (2009): Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM<sub>10</sub>-Belastung an Straßen - FE 77.486/2006. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul, unter Mitarbeit von: TU Dresden, Lehrstuhl Verkehrs- und Infrastrukturplanung: Prof. Dr.-Ing. Gerd-Axel Ahrens (als Leiter des Lehrstuhls vip), Dr.-Ing. Christian Bartz, Dr.-Ing. Rico Wittwer und Lehrstuhl für Verkehrsökologie: Prof. Dr.-Ing. Udo J. Becker, Dr.-Ing. Falk Richter, Dipl.-Ing. Wolfram Schmidt sowie NORDIC ENVICON Oy (Helsinki) und Metropolia Helsinki University of Applied Sciences: Kaarle Kupiainen, Liisa Pirjola, Ana Stojiljkovic, Aleksi Malinen, Harri Portin. Projekt 70310-06-10, Juli 2009. Gutachten im Auftrag von: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.

Lohmeyer (2010a): Verursacher, flächenhafte Belastung und Tendenzen für PM<sub>2.5</sub> in Sachsen. Sachstandsbericht unter Mitarbeit der TU Dresden und IFEU Heidelberg vom 04.01.2010. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70581-09-10, Januar 2010. Gutachten im Auftrag von: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

Lohmeyer (2010b): Modellierung der PM<sub>10</sub>-Konzentrationen inkl. Inhaltsstoffe für die „Schlossparkepisode“ im Bereich Stuttgart-Neckartor. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70566-09-10, November 2010. Gutachten im Auftrag von: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.

Lohmeyer (2010c): Fortschreibung des Luftreinhalteplanes Cottbus. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70689-10-10. Dezember 2010. Im Auftrag von:

Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Potsdam.

Lohmeyer (2010d): Wirkungsuntersuchungen der Umweltzone Hannover auf Basis der neuen Emissionsfaktoren für Straßenverkehr. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70626-09-01. August 2010. Im Auftrag von: Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün, Bereich Umweltschutz.

Lohmeyer (2010e): Berechnung Kfz-bedingter Schadstoffemissionen und Immissionen in Hamburg. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70565-09-01, Dezember 2010. Gutachten im Auftrag von: Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Immissionsschutz und Betriebe, Luftreinhaltung.

Lohmeyer (2011a): Aktualisierung des MLuS 02, geänderte Fassung 2005 bezüglich Emission, Lärmschutzmodul, NO/NO<sub>2</sub>-Konversion, Vorbelastung und Fortschreibung 22. BImSchV, FE 02.0255/2004/LRB. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70405-08-01. Berichtsentwurf vom 28.02.2011. Gutachten im Auftrag von: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.

Lohmeyer (2011b): Entwurf Sachstandsbericht Luftreinhalteplan Frankfurt (Oder). Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70708-10-10, Stand 21.04.2011 unter Mitwirkung von SVU Planungsbüro Dr.-Ing. D. Hunger, Dresden/Berlin, CS Planungs- und Ingenieurgesellschaft mbH, Berlin. Gutachten im Auftrag von: Ministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Potsdam.

Lükewille, A., Bertok, I., Amann, M., Cofala, J., Gyarfas, F., Heyes, C., Karvosenoja, N., Klimont, Z., Schöpp, W. (2002): A Framework to Estimate the Potential and Costs for the Control of Fine Particulate Emissions in Europe. IIASA – International Institute for Applied Systems Analysis, Interim Report IR-01-023.

Schneider, C., Niederau, A., Schulz, T., Brandt, A. (2006): Ermittlung der durch Aufwirbelung und Abrieb im Straßenverkehr verursachten PM10-Emissionen – Ein modifizierter Ansatz; aus: Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, Oktober 2006.

- Omstedt G., Bringfelt, B. and Johansson, C. (2005): 'A model for vehicle-induced non-tailpipe emissions of particles along Swedish roads', Atmospheric Environment, Vol. 39, pp.6088-6097.
- UBA (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1/April 2004. Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS AG Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg. Hrsg: Umweltbundesamt Berlin. Herunterladbar unter <http://www.hbefa.net/>.
- UBA (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1/Januar 2010. Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS AG Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg. Hrsg.: Umweltbundesamt Berlin. <http://www.hbefa.net/d/start.html>.
- Venkatram, A. (2000): A critique of empirical emission factor models: a case study of the AP-42 model for estimating PM<sub>10</sub> emissions from paved roads. Atmosph. Envir. 34, 1 - 11.
- Worringen, A., Ebert, M., Weinbruch, S. (2010): Entwicklung von Methoden zur qualitativen und quantitativen Quellzuordnung von Aerosolpartikeln an einem Verkehrs-Hotspot. Endbericht zum Forschungsvorhaben. TU Darmstadt, Institut für Angewandte Geowissenschaft, Fachgebiet Umweltmineralogie, Darmstadt, Juni 2010.

**A N H A N G A 1:**  
**FAHRZEUGSCHICHTEN NACH HBEFA3.1**

Fahrzeugschicht	Antriebsart	Größenklasse	Konzept
PKW 2T EE	Benzin (2T)	nicht spezifiziert	Osteuropäisches Fabrikat
PKW 4T EE	Benzin (4T)	nicht spezifiziert	Osteuropäisches Fabrikat
PKW Benzin <1,4L <ECE	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-0
PKW Benzin <1,4L ECE-15'00	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-0
PKW Benzin <1,4L ECE-15'01/02	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-0
PKW Benzin <1,4L ECE-15'03	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-0
PKW Benzin <1,4L ECE-15'04	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-0
PKW Benzin <1,4L conv other concepts	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-0
PKW Benzin <1,4L Ucat	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-0
PKW Benzin <1,4L PreEuro 3wCat <1987	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-0
PKW Benzin <1,4L PreEuro 3wCat 1987-90	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-0
PKW Benzin >=2L <ECE	Benzin (4T)	>=2L	Euro-0
PKW Benzin >=2L ECE-15'00	Benzin (4T)	>=2L	Euro-0
PKW Benzin >=2L ECE-15'01/02	Benzin (4T)	>=2L	Euro-0
PKW Benzin >=2L ECE-15'03	Benzin (4T)	>=2L	Euro-0
PKW Benzin >=2L ECE-15'04	Benzin (4T)	>=2L	Euro-0
PKW Benzin >=2L PreEuro 3wCat <1987	Benzin (4T)	>=2L	Euro-0
PKW Benzin >=2L PreEuro 3wCat 1987-90	Benzin (4T)	>=2L	Euro-0
PKW Benzin 1,4-<2L <ECE	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-0
PKW Benzin 1,4-<2L ECE-15'00	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-0
PKW Benzin 1,4-<2L ECE-15'01/02	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-0
PKW Benzin 1,4-<2L ECE-15'03	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-0
PKW Benzin 1,4-<2L ECE-15'04	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-0
PKW Benzin 1,4-<2L conv other concepts	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-0
PKW Benzin 1,4-<2L Ucat	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-0
PKW Benzin 1,4-<2L PreEuro 3wCat <1987	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-0
PKW Benzin 1,4-<2L PreEuro 3wCat 1987-90	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-0
PKW Benzin <1,4L Euro-1	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-1
PKW Benzin >=2L Euro-1	Benzin (4T)	>=2L	Euro-1
PKW Benzin 1,4-<2L Euro-1	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-1
PKW Benzin <1,4L Euro-2	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-2
PKW Benzin >=2L Euro-2	Benzin (4T)	>=2L	Euro-2
PKW Benzin 1,4-<2L Euro-2	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-2
PKW Benzin <1,4L Euro-3	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-3
PKW Benzin >=2L Euro-3	Benzin (4T)	>=2L	Euro-3
PKW Benzin 1,4-<2L Euro-3	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-3
PKW Benzin <1,4L Euro-4	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-4
PKW Benzin >=2L Euro-4	Benzin (4T)	>=2L	Euro-4
PKW Benzin 1,4-<2L Euro-4	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-4
PKW Benzin <1,4L Euro-5	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-5
PKW Benzin >=2L Euro-5	Benzin (4T)	>=2L	Euro-5
PKW Benzin 1,4-<2L Euro-5	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-5
PKW Benzin <1,4L Euro-6	Benzin (4T)	<1,4L	Euro-6
PKW Benzin >=2L Euro-6	Benzin (4T)	>=2L	Euro-6
PKW Benzin 1,4-<2L Euro-6	Benzin (4T)	1,4-<2L	Euro-6
PKW Diesel <1,4L 1986-1988	Diesel	<1,4L	Euro-0
PKW Diesel >=2L conv	Diesel	>=2L	Euro-0
PKW Diesel >=2L 1986-1988	Diesel	>=2L	Euro-0
PKW Diesel 1,4-<2L conv	Diesel	1,4-<2L	Euro-0
PKW Diesel 1,4-<2L 1986-1988	Diesel	1,4-<2L	Euro-0
PKW Diesel <1,4L Euro-1	Diesel	<1,4L	Euro-1
PKW Diesel >=2L Euro-1	Diesel	>=2L	Euro-1
PKW Diesel 1,4-<2L Euro-1	Diesel	1,4-<2L	Euro-1
PKW Diesel <1,4L Euro-2	Diesel	<1,4L	Euro-2
PKW Diesel >=2L Euro-2	Diesel	>=2L	Euro-2
PKW Diesel 1,4-<2L Euro-2	Diesel	1,4-<2L	Euro-2
PKW Diesel <1,4L Euro-3	Diesel	<1,4L	Euro-3
PKW Diesel <1,4L Euro-3 (DPF)	Diesel	<1,4L	Euro-3
PKW Diesel >=2L Euro-3	Diesel	>=2L	Euro-3
PKW Diesel >=2L Euro-3 (DPF)	Diesel	>=2L	Euro-3
PKW Diesel 1,4-<2L Euro-3	Diesel	1,4-<2L	Euro-3
PKW Diesel 1,4-<2L Euro-3 (DPF)	Diesel	1,4-<2L	Euro-3
PKW Diesel <1,4L Euro-4	Diesel	<1,4L	Euro-4
PKW Diesel <1,4L Euro-4 (DPF)	Diesel	<1,4L	Euro-4
PKW Diesel >=2L Euro-4	Diesel	>=2L	Euro-4
PKW Diesel >=2L Euro-4 (DPF)	Diesel	>=2L	Euro-4
PKW Diesel 1,4-<2L Euro-4	Diesel	1,4-<2L	Euro-4
PKW Diesel 1,4-<2L Euro-4 (DPF)	Diesel	1,4-<2L	Euro-4
PKW Diesel <1,4L Euro-5 DPF	Diesel	<1,4L	Euro-5
PKW Diesel >=2L Euro-5 DPF	Diesel	>=2L	Euro-5
PKW Diesel 1,4-<2L Euro-5 DPF	Diesel	1,4-<2L	Euro-5
PKW Diesel <1,4L Euro-6 DPF	Diesel	<1,4L	Euro-6
PKW Diesel >=2L Euro-6 DPF	Diesel	>=2L	Euro-6
PKW Diesel 1,4-<2L Euro-6 DPF	Diesel	1,4-<2L	Euro-6

Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr  
sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung  
und Abrieb des Straßenverkehrs

Fahrzeugschicht	Antriebsart	Größenklasse	Konzept
LNF 2T EE	Benzin (2T)	nicht spezifiziert	Osteuropäisches Fabrikat
LNF Benzin M+N1-I Conv <1981	Benzin (4T)	M+N1-I	Euro-0
LNF Benzin M+N1-I Conv >1981	Benzin (4T)	M+N1-I	Euro-0
LNF Benzin N1-II Conv <1981	Benzin (4T)	N1-II	Euro-0
LNF Benzin N1-II Conv >1981	Benzin (4T)	N1-II	Euro-0
LNF Benzin N1-III Conv <1981	Benzin (4T)	N1-III	Euro-0
LNF Benzin N1-III Conv >1981	Benzin (4T)	N1-III	Euro-0
LNF Benzin M+N1-I Euro-1	Benzin (4T)	M+N1-I	Euro-1
LNF Benzin N1-II Euro-1	Benzin (4T)	N1-II	Euro-1
LNF Benzin N1-III Euro-1	Benzin (4T)	N1-III	Euro-1
LNF Benzin M+N1-I Euro-2	Benzin (4T)	M+N1-I	Euro-2
LNF Benzin N1-II Euro-2	Benzin (4T)	N1-II	Euro-2
LNF Benzin N1-III Euro-2	Benzin (4T)	N1-III	Euro-2
LNF Benzin M+N1-I Euro-3	Benzin (4T)	M+N1-I	Euro-3
LNF Benzin N1-II Euro-3	Benzin (4T)	N1-II	Euro-3
LNF Benzin N1-III Euro-3	Benzin (4T)	N1-III	Euro-3
LNF Benzin M+N1-I Euro-4	Benzin (4T)	M+N1-I	Euro-4
LNF Benzin N1-II Euro-4	Benzin (4T)	N1-II	Euro-4
LNF Benzin N1-III Euro-4	Benzin (4T)	N1-III	Euro-4
LNF Benzin M+N1-I Euro-5	Benzin (4T)	M+N1-I	Euro-5
LNF Benzin N1-II Euro-5	Benzin (4T)	N1-II	Euro-5
LNF Benzin N1-III Euro-5	Benzin (4T)	N1-III	Euro-5
LNF Benzin M+N1-I Euro-6	Benzin (4T)	M+N1-I	Euro-6
LNF Benzin N1-II Euro-6	Benzin (4T)	N1-II	Euro-6
LNF Benzin N1-III Euro-6	Benzin (4T)	N1-III	Euro-6
LNF Diesel M+N1-I conv< 1986	Diesel	M+N1-I	Euro-0
LNF Diesel M+N1-I XXIII	Diesel	M+N1-I	Euro-0
LNF Diesel N1-II conv< 1986	Diesel	N1-II	Euro-0
LNF Diesel N1-II XXIII	Diesel	N1-II	Euro-0
LNF Diesel N1-III conv< 1986	Diesel	N1-III	Euro-0
LNF Diesel N1-III XXIII	Diesel	N1-III	Euro-0
LNF Diesel M+N1-I Euro-1	Diesel	M+N1-I	Euro-1
LNF Diesel N1-II Euro-1	Diesel	N1-II	Euro-1
LNF Diesel N1-III Euro-1	Diesel	N1-III	Euro-1
LNF Diesel M+N1-I Euro-2	Diesel	M+N1-I	Euro-2
LNF Diesel N1-II Euro-2	Diesel	N1-II	Euro-2
LNF Diesel N1-III Euro-2	Diesel	N1-III	Euro-2
LNF Diesel M+N1-I Euro-3	Diesel	M+N1-I	Euro-3
LNF Diesel N1-II Euro-3	Diesel	N1-II	Euro-3
LNF Diesel N1-III Euro-3	Diesel	N1-III	Euro-3
LNF Diesel M+N1-I Euro-4	Diesel	M+N1-I	Euro-4
LNF Diesel N1-II Euro-4	Diesel	N1-II	Euro-4
LNF Diesel N1-III Euro-4	Diesel	N1-III	Euro-4
LNF Diesel M+N1-I Euro-5 DPF	Diesel	M+N1-I	Euro-5
LNF Diesel N1-II Euro-5 DPF	Diesel	N1-II	Euro-5
LNF Diesel N1-III Euro-5 DPF	Diesel	N1-III	Euro-5
LNF Diesel M+N1-I Euro-6 DPF	Diesel	M+N1-I	Euro-6
LNF Diesel N1-II Euro-6 DPF	Diesel	N1-II	Euro-6
LNF Diesel N1-III Euro-6 DPF	Diesel	N1-III	Euro-6

Fahrzeugschicht	Antriebsart	Größenklasse	Konzept
RBus Standard <=18t 60erJahre	Diesel	<=18t	Euro-0
RBus Standard <=18t 70erJahre	Diesel	<=18t	Euro-0
RBus Standard <=18t 80erJahre	Diesel	<=18t	Euro-0
RBus 3-Achser >18t 60erJahre	Diesel	>18t	Euro-0
RBus 3-Achser >18t 70erJahre	Diesel	>18t	Euro-0
RBus 3-Achser >18t 80erJahre	Diesel	>18t	Euro-0
RBus Standard <=18t Euro-I	Diesel	<=18t	Euro-I
RBus 3-Achser >18t Euro-I	Diesel	>18t	Euro-I
RBus Standard <=18t Euro-II	Diesel	<=18t	Euro-II
RBus 3-Achser >18t Euro-II	Diesel	>18t	Euro-II
RBus Standard <=18t Euro-III	Diesel	<=18t	Euro-III
RBus 3-Achser >18t Euro-III	Diesel	>18t	Euro-III
RBus Standard <=18t Euro-IV EGR	Diesel	<=18t	Euro-IV
RBus Standard <=18t Euro-IV SCR	Diesel	<=18t	Euro-IV
RBus 3-Achser >18t Euro-IV EGR	Diesel	>18t	Euro-IV
RBus 3-Achser >18t Euro-IV SCR	Diesel	>18t	Euro-IV
RBus Standard <=18t Euro-V EGR	Diesel	<=18t	Euro-V
RBus Standard <=18t Euro-V SCR	Diesel	<=18t	Euro-V
RBus 3-Achser >18t Euro-V EGR	Diesel	>18t	Euro-V
RBus 3-Achser >18t Euro-V SCR	Diesel	>18t	Euro-V
RBus Standard <=18t Euro-VI	Diesel	<=18t	Euro-VI
RBus 3-Achser >18t Euro-VI	Diesel	>18t	Euro-VI
RBus Standard <=18t EE	Diesel	<=18t	Osteuropäisches Fabrikat

Fahrzeugschicht	Antriebsart	Größenklasse	Konzept
LBus Standard >15-18t 60erJahre	Diesel	>15-18t	Euro-0
LBus Standard >15-18t 70erJahre	Diesel	>15-18t	Euro-0
LBus Standard >15-18t 80erJahre	Diesel	>15-18t	Euro-0
LBus 3-Achser >18t 60erJahre	Diesel	>18t	Euro-0
LBus 3-Achser >18t 70erJahre	Diesel	>18t	Euro-0
LBus 3-Achser >18t 80erJahre	Diesel	>18t	Euro-0
LBus Midi <=15t 60erJahre	Diesel	Midi <=15t	Euro-0
LBus Midi <=15t 70erJahre	Diesel	Midi <=15t	Euro-0
LBus Midi <=15t 80erJahre	Diesel	Midi <=15t	Euro-0
LBus Standard >15-18t Euro-I	Diesel	>15-18t	Euro-I
LBus 3-Achser >18t Euro-I	Diesel	>18t	Euro-I
LBus Midi <=15t Euro-I	Diesel	Midi <=15t	Euro-I
LBus Standard >15-18t Euro-II	Diesel	>15-18t	Euro-II
LBus Standard >15-18t Euro-II (DPF)	Diesel	>15-18t	Euro-II
LBus 3-Achser >18t Euro-II	Diesel	>18t	Euro-II
LBus 3-Achser >18t Euro-II (DPF)	Diesel	>18t	Euro-II
LBus Midi <=15t Euro-II	Diesel	Midi <=15t	Euro-II
LBus Midi <=15t Euro-II (DPF)	Diesel	Midi <=15t	Euro-II
LBus Standard >15-18t Euro-III	Diesel	>15-18t	Euro-III
LBus Standard >15-18t Euro-III (DPF)	Diesel	>15-18t	Euro-III
LBus 3-Achser >18t Euro-III	Diesel	>18t	Euro-III
LBus 3-Achser >18t Euro-III (DPF)	Diesel	>18t	Euro-III
LBus Midi <=15t Euro-III	Diesel	Midi <=15t	Euro-III
LBus Midi <=15t Euro-III (DPF)	Diesel	Midi <=15t	Euro-III
LBus Standard >15-18t Euro-IV EGR	Diesel	>15-18t	Euro-IV
LBus Standard >15-18t Euro-IV SCR	Diesel	>15-18t	Euro-IV
LBus Standard >15-18t Euro-IV EGR (DPF)	Diesel	>15-18t	Euro-IV
LBus Standard >15-18t Euro-IV SCR (DPF)	Diesel	>15-18t	Euro-IV
LBus 3-Achser >18t Euro-IV EGR	Diesel	>18t	Euro-IV
LBus 3-Achser >18t Euro-IV SCR	Diesel	>18t	Euro-IV
LBus 3-Achser >18t Euro-IV EGR (DPF)	Diesel	>18t	Euro-IV
LBus 3-Achser >18t Euro-IV SCR (DPF)	Diesel	>18t	Euro-IV
LBus Midi <=15t Euro-IV EGR	Diesel	Midi <=15t	Euro-IV
LBus Midi <=15t Euro-IV SCR	Diesel	Midi <=15t	Euro-IV
LBus Midi <=15t Euro-IV EGR (DPF)	Diesel	Midi <=15t	Euro-IV
LBus Midi <=15t Euro-IV SCR (DPF)	Diesel	Midi <=15t	Euro-IV
LBus Standard >15-18t Euro-V EGR	Diesel	>15-18t	Euro-V
LBus Standard >15-18t Euro-V SCR	Diesel	>15-18t	Euro-V
LBus Standard >15-18t Euro-V EGR (DPF)	Diesel	>15-18t	Euro-V
LBus Standard >15-18t Euro-V SCR (DPF)	Diesel	>15-18t	Euro-V
LBus 3-Achser >18t Euro-V EGR	Diesel	>18t	Euro-V
LBus 3-Achser >18t Euro-V SCR	Diesel	>18t	Euro-V
LBus 3-Achser >18t Euro-V EGR (DPF)	Diesel	>18t	Euro-V
LBus 3-Achser >18t Euro-V SCR (DPF)	Diesel	>18t	Euro-V
LBus Midi <=15t Euro-V EGR	Diesel	Midi <=15t	Euro-V
LBus Midi <=15t Euro-V SCR	Diesel	Midi <=15t	Euro-V
LBus Midi <=15t Euro-V EGR (DPF)	Diesel	Midi <=15t	Euro-V
LBus Midi <=15t Euro-V SCR (DPF)	Diesel	Midi <=15t	Euro-V
LBus Standard >15-18t Euro-VI	Diesel	>15-18t	Euro-VI
LBus 3-Achser >18t Euro-VI	Diesel	>18t	Euro-VI
LBus Midi <=15t Euro-VI	Diesel	Midi <=15t	Euro-VI
LBus Standard <=18t EE	Diesel	>15-18t	Osteuropäisches Fabrikat
LBus 3-Achser >18t EE	Diesel	>18t	Osteuropäisches Fabrikat

Fahrzeugschicht	Antriebsart	Größenklasse	Konzept
Moped <=50cc preEuro	Benzin (2T)	<=50cc	KKR-Euro-0
Moped <=50cc Euro-1	Benzin (2T)	<=50cc	KKR-Euro-1
Moped <=50cc Euro-2	Benzin (2T)	<=50cc	KKR-Euro-2
KR 2T <=150cc preEuro	Benzin (2T)	<=150cc	KR-2T-Euro-0
KR 2T >150cc preEuro	Benzin (2T)	>150cc	KR-2T-Euro-0
KR 2T <=150cc Euro-1	Benzin (2T)	<=150cc	KR-2T-Euro-1
KR 2T >150cc Euro-1	Benzin (2T)	>150cc	KR-2T-Euro-1
KR 2T <=150cc Euro-2	Benzin (2T)	<=150cc	KR-2T-Euro-2
KR 2T >150cc Euro-2	Benzin (2T)	>150cc	KR-2T-Euro-2
KR 2T <=150cc Euro-3	Benzin (2T)	<=150cc	KR-2T-Euro-3
KR 2T >150cc Euro-3	Benzin (2T)	>150cc	KR-2T-Euro-3
KR 4T <=150cc preEuro	Benzin (4T)	<=150cc	KR-4T-Euro-0
KR 4T >750cc preEuro	Benzin (4T)	>750cc	KR-4T-Euro-0
KR 4T 151-250cc preEuro	Benzin (4T)	151-250cc	KR-4T-Euro-0
KR 4T 251-750cc preEuro	Benzin (4T)	251-750cc	KR-4T-Euro-0
KR 4T <=150cc Euro-1	Benzin (4T)	<=150cc	KR-4T-Euro-1
KR 4T >750cc Euro-1	Benzin (4T)	>750cc	KR-4T-Euro-1
KR 4T 151-250cc Euro-1	Benzin (4T)	151-250cc	KR-4T-Euro-1
KR 4T 251-750cc Euro-1	Benzin (4T)	251-750cc	KR-4T-Euro-1
KR 4T <=150cc Euro-2	Benzin (4T)	<=150cc	KR-4T-Euro-2
KR 4T >750cc Euro-2	Benzin (4T)	>750cc	KR-4T-Euro-2
KR 4T 151-250cc Euro-2	Benzin (4T)	151-250cc	KR-4T-Euro-2
KR 4T 251-750cc Euro-2	Benzin (4T)	251-750cc	KR-4T-Euro-2
KR 4T <=150cc Euro-3	Benzin (4T)	<=150cc	KR-4T-Euro-3
KR 4T >750cc Euro-3	Benzin (4T)	>750cc	KR-4T-Euro-3
KR 4T 151-250cc Euro-3	Benzin (4T)	151-250cc	KR-4T-Euro-3
KR 4T 251-750cc Euro-3	Benzin (4T)	251-750cc	KR-4T-Euro-3

Fahrzeugschicht	Antriebsart	Größenklasse	Konzept
SoloLkw <= 7,5t EE	Diesel	LKW <= 7,5t	Osteuropäisches Fabrikat
SoloLkw > 7,5-12t EE	Diesel	LKW > 7,5-12t	Osteuropäisches Fabrikat
SoloLkw <= 7,5t 60erJahre	Diesel	LKW <= 7,5t	Euro-0
SoloLkw <= 7,5t 70erJahre	Diesel	LKW <= 7,5t	Euro-0
SoloLkw <= 7,5t 80erJahre	Diesel	LKW <= 7,5t	Euro-0
SoloLkw > 12-14t 60erJahre	Diesel	LKW > 12-14t	Euro-0
SoloLkw > 12-14t 70erJahre	Diesel	LKW > 12-14t	Euro-0
SoloLkw > 12-14t 80erJahre	Diesel	LKW > 12-14t	Euro-0
SoloLkw > 14-20t 60erJahre	Diesel	LKW > 14-20t	Euro-0
SoloLkw > 14-20t 70erJahre	Diesel	LKW > 14-20t	Euro-0
SoloLkw > 14-20t 80erJahre	Diesel	LKW > 14-20t	Euro-0
SoloLkw > 20-26t 60erJahre	Diesel	LKW > 20-26t	Euro-0
SoloLkw > 20-26t 70erJahre	Diesel	LKW > 20-26t	Euro-0
SoloLkw > 20-26t 80erJahre	Diesel	LKW > 20-26t	Euro-0
SoloLkw > 26-28t 60erJahre	Diesel	LKW > 26-28t	Euro-0
SoloLkw > 26-28t 70erJahre	Diesel	LKW > 26-28t	Euro-0
SoloLkw > 26-28t 80erJahre	Diesel	LKW > 26-28t	Euro-0
SoloLkw > 28-32t 60erJahre	Diesel	LKW > 28-32t	Euro-0
SoloLkw > 28-32t 70erJahre	Diesel	LKW > 28-32t	Euro-0
SoloLkw > 28-32t 80erJahre	Diesel	LKW > 28-32t	Euro-0
SoloLkw > 32t 60erJahre	Diesel	LKW > 32t	Euro-0
SoloLkw > 32t 70erJahre	Diesel	LKW > 32t	Euro-0
SoloLkw > 32t 80erJahre	Diesel	LKW > 32t	Euro-0
SoloLkw > 7,5-12t 60erJahre	Diesel	LKW > 7,5-12t	Euro-0
SoloLkw > 7,5-12t 70erJahre	Diesel	LKW > 7,5-12t	Euro-0
SoloLkw > 7,5-12t 80erJahre	Diesel	LKW > 7,5-12t	Euro-0
SoloLkw <= 7,5t Euro-I	Diesel	LKW <= 7,5t	Euro-I
SoloLkw > 12-14t Euro-I	Diesel	LKW > 12-14t	Euro-I
SoloLkw > 14-20t Euro-I	Diesel	LKW > 14-20t	Euro-I
SoloLkw > 20-26t Euro-I	Diesel	LKW > 20-26t	Euro-I
SoloLkw > 26-28t Euro-I	Diesel	LKW > 26-28t	Euro-I
SoloLkw > 28-32t Euro-I	Diesel	LKW > 28-32t	Euro-I
SoloLkw > 32t Euro-I	Diesel	LKW > 32t	Euro-I
SoloLkw > 7,5-12t Euro-I	Diesel	LKW > 7,5-12t	Euro-I
SoloLkw <= 7,5t Euro-II	Diesel	LKW <= 7,5t	Euro-II
SoloLkw > 12-14t Euro-II	Diesel	LKW > 12-14t	Euro-II
SoloLkw > 14-20t Euro-II	Diesel	LKW > 14-20t	Euro-II
SoloLkw > 20-26t Euro-II	Diesel	LKW > 20-26t	Euro-II
SoloLkw > 26-28t Euro-II	Diesel	LKW > 26-28t	Euro-II
SoloLkw > 28-32t Euro-II	Diesel	LKW > 28-32t	Euro-II
SoloLkw > 32t Euro-II	Diesel	LKW > 32t	Euro-II
SoloLkw > 7,5-12t Euro-II	Diesel	LKW > 7,5-12t	Euro-II
SoloLkw <= 7,5t Euro-III	Diesel	LKW <= 7,5t	Euro-III
SoloLkw > 12-14t Euro-III	Diesel	LKW > 12-14t	Euro-III
SoloLkw > 14-20t Euro-III	Diesel	LKW > 14-20t	Euro-III
SoloLkw > 20-26t Euro-III	Diesel	LKW > 20-26t	Euro-III
SoloLkw > 26-28t Euro-III	Diesel	LKW > 26-28t	Euro-III
SoloLkw > 28-32t Euro-III	Diesel	LKW > 28-32t	Euro-III
SoloLkw > 32t Euro-III	Diesel	LKW > 32t	Euro-III
SoloLkw > 7,5-12t Euro-III	Diesel	LKW > 7,5-12t	Euro-III
SoloLkw <= 7,5t Euro-IV EGR	Diesel	LKW <= 7,5t	Euro-IV
SoloLkw <= 7,5t Euro-IV SCR	Diesel	LKW <= 7,5t	Euro-IV
SoloLkw > 12-14t Euro-IV EGR	Diesel	LKW > 12-14t	Euro-IV
SoloLkw > 12-14t Euro-IV SCR	Diesel	LKW > 12-14t	Euro-IV
SoloLkw > 14-20t Euro-IV EGR	Diesel	LKW > 14-20t	Euro-IV
SoloLkw > 14-20t Euro-IV SCR	Diesel	LKW > 14-20t	Euro-IV
SoloLkw > 20-26t Euro-IV EGR	Diesel	LKW > 20-26t	Euro-IV
SoloLkw > 20-26t Euro-IV SCR	Diesel	LKW > 20-26t	Euro-IV
SoloLkw > 26-28t Euro-IV EGR	Diesel	LKW > 26-28t	Euro-IV
SoloLkw > 26-28t Euro-IV SCR	Diesel	LKW > 26-28t	Euro-IV
SoloLkw > 28-32t Euro-IV EGR	Diesel	LKW > 28-32t	Euro-IV
SoloLkw > 28-32t Euro-IV SCR	Diesel	LKW > 28-32t	Euro-IV
SoloLkw > 32t Euro-IV EGR	Diesel	LKW > 32t	Euro-IV
SoloLkw > 32t Euro-IV SCR	Diesel	LKW > 32t	Euro-IV
SoloLkw > 7,5-12t Euro-IV EGR	Diesel	LKW > 7,5-12t	Euro-IV
SoloLkw > 7,5-12t Euro-IV SCR	Diesel	LKW > 7,5-12t	Euro-IV

Fahrzeugschicht	Antriebsart	Größenklasse	Konzept
SoloLkw <=7,5t Euro-V EGR	Diesel	LKW <=7,5t	Euro-V
SoloLkw <=7,5t Euro-V SCR	Diesel	LKW <=7,5t	Euro-V
SoloLkw >12-14t Euro-V EGR	Diesel	LKW >12-14t	Euro-V
SoloLkw >12-14t Euro-V SCR	Diesel	LKW >12-14t	Euro-V
SoloLkw >14-20t Euro-V EGR	Diesel	LKW >14-20t	Euro-V
SoloLkw >14-20t Euro-V SCR	Diesel	LKW >14-20t	Euro-V
SoloLkw >20-26t Euro-V EGR	Diesel	LKW >20-26t	Euro-V
SoloLkw >20-26t Euro-V SCR	Diesel	LKW >20-26t	Euro-V
SoloLkw >26-28t Euro-V EGR	Diesel	LKW >26-28t	Euro-V
SoloLkw >26-28t Euro-V SCR	Diesel	LKW >26-28t	Euro-V
SoloLkw >28-32t Euro-V EGR	Diesel	LKW >28-32t	Euro-V
SoloLkw >28-32t Euro-V SCR	Diesel	LKW >28-32t	Euro-V
SoloLkw >32t Euro-V EGR	Diesel	LKW >32t	Euro-V
SoloLkw >32t Euro-V SCR	Diesel	LKW >32t	Euro-V
SoloLkw >7,5-12t Euro-V EGR	Diesel	LKW >7,5-12t	Euro-V
SoloLkw >7,5-12t Euro-V SCR	Diesel	LKW >7,5-12t	Euro-V
SoloLkw <=7,5t Euro-VI	Diesel	LKW <=7,5t	Euro-VI
SoloLkw >12-14t Euro-VI	Diesel	LKW >12-14t	Euro-VI
SoloLkw >14-20t Euro-VI	Diesel	LKW >14-20t	Euro-VI
SoloLkw >20-26t Euro-VI	Diesel	LKW >20-26t	Euro-VI
SoloLkw >26-28t Euro-VI	Diesel	LKW >26-28t	Euro-VI
SoloLkw >28-32t Euro-VI	Diesel	LKW >28-32t	Euro-VI
SoloLkw >32t Euro-VI	Diesel	LKW >32t	Euro-VI
SoloLkw >7,5-12t Euro-VI	Diesel	LKW >7,5-12t	Euro-VI
LZ/SZ >20-28t 70erJahre	Diesel	LZ/SZ >20-28t	Euro-0
LZ/SZ >20-28t 80erJahre	Diesel	LZ/SZ >20-28t	Euro-0
LZ/SZ >28-34t 70erJahre	Diesel	LZ/SZ >28-34t	Euro-0
LZ/SZ >28-34t 80erJahre	Diesel	LZ/SZ >28-34t	Euro-0
LZ/SZ >34-40t 70erJahre	Diesel	LZ/SZ >34-40t	Euro-0
LZ/SZ >34-40t 80erJahre	Diesel	LZ/SZ >34-40t	Euro-0
LZ/SZ >20-28t Euro-I	Diesel	LZ/SZ >20-28t	Euro-I
LZ/SZ >28-34t Euro-I	Diesel	LZ/SZ >28-34t	Euro-I
LZ/SZ >34-40t Euro-I	Diesel	LZ/SZ >34-40t	Euro-I
LZ/SZ >20-28t Euro-II	Diesel	LZ/SZ >20-28t	Euro-II
LZ/SZ >28-34t Euro-II	Diesel	LZ/SZ >28-34t	Euro-II
LZ/SZ >34-40t Euro-II	Diesel	LZ/SZ >34-40t	Euro-II
LZ/SZ >20-28t Euro-III	Diesel	LZ/SZ >20-28t	Euro-III
LZ/SZ >28-34t Euro-III	Diesel	LZ/SZ >28-34t	Euro-III
LZ/SZ >34-40t Euro-III	Diesel	LZ/SZ >34-40t	Euro-III
LZ/SZ >20-28t Euro-IV EGR	Diesel	LZ/SZ >20-28t	Euro-IV
LZ/SZ >20-28t Euro-IV SCR	Diesel	LZ/SZ >20-28t	Euro-IV
LZ/SZ >28-34t Euro-IV EGR	Diesel	LZ/SZ >28-34t	Euro-IV
LZ/SZ >28-34t Euro-IV SCR	Diesel	LZ/SZ >28-34t	Euro-IV
LZ/SZ >34-40t Euro-IV EGR	Diesel	LZ/SZ >34-40t	Euro-IV
LZ/SZ >34-40t Euro-IV SCR	Diesel	LZ/SZ >34-40t	Euro-IV
LZ/SZ >20-28t Euro-V EGR	Diesel	LZ/SZ >20-28t	Euro-V
LZ/SZ >20-28t Euro-V SCR	Diesel	LZ/SZ >20-28t	Euro-V
LZ/SZ >28-34t Euro-V EGR	Diesel	LZ/SZ >28-34t	Euro-V
LZ/SZ >28-34t Euro-V SCR	Diesel	LZ/SZ >28-34t	Euro-V
LZ/SZ >34-40t Euro-V EGR	Diesel	LZ/SZ >34-40t	Euro-V
LZ/SZ >34-40t Euro-V SCR	Diesel	LZ/SZ >34-40t	Euro-V
LZ/SZ >20-28t Euro-VI	Diesel	LZ/SZ >20-28t	Euro-VI
LZ/SZ >28-34t Euro-VI	Diesel	LZ/SZ >28-34t	Euro-VI
LZ/SZ >34-40t Euro-VI	Diesel	LZ/SZ >34-40t	Euro-VI

**A N H A N G A2:**  
**BERICHT TU DRESDEN**



# Erarbeitung einer plausiblen Übertragung der Verkehrssituationen aus HBEFA 2.1 zu HBEFA 3.1

---

Untersuchung im Auftrag des Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG

Bearbeiter



TU Dresden  
Lehrstuhl für Verkehrsökologie  
Prof. Dr.-Ing. Udo J. Becker

Dr.-Ing. Falk Richter  
Dipl.-Ing. Wolfram Schmidt

Stand

Dresden, den 15.10.2010

---

1 1

---



# Inhalt

## Abkürzungsverzeichnis

### Fachspezifische Begriffe

1	Einordnung.....	6
2	Vorgehensweise .....	6
3	Übertragung der Verkehrssituation.....	7
3.1	Übertragung der Regelverkehrssituation .....	7
3.2	Übertragung der Stop&Go-Anteile.....	11

## Literaturverzeichnis

## ANHANG



## Abkürzungsverzeichnis

CH <sub>4</sub>	Methan
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Benzol
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
FM	Fahrmuster
FIS	Fachinformationssystem Umwelt und Verkehr
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
HC	Kohlenwasserstoffe (Hydrocarbons)
HVS	Hauptverkehrsstraße
IO	Innerorts
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KFZ	Kraftfahrzeug
LKW	Lastkraftwagen
LNF	Leichtes Nutzfahrzeug
LSA	Lichtsignalanlage
mKr	Masse Kraftstoff
NMHC	Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
Pb	Blei
PKW	Personenkraftwagen
SNF	Schweres Nutzfahrzeug
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
STGO AB	„Stop and Go“ Autobahn
STGO IO	„Stop and Go“ Innerorts
t	Zeit
UBA	Umweltbundesamt
v	Geschwindigkeit
v*b	Geschwindigkeit mal Beschleunigung
VS	Verkehrssituation



## Fachspezifische Begriffe /1/

### Fahrgeschwindigkeit

Die *Fahrgeschwindigkeit* ist die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges über einen Streckenabschnitt nach Abzug von Haltezeiten.

### Fahrkurve

Eine *Fahrkurve* ist die Beschreibung des Fahrverlaufs innerhalb eines Streckenabschnittes, darstellbar in der Form von Geschwindigkeit/Weg- oder Geschwindigkeit/Zeit-Diagrammen oder durch Fahrverhaltenskennwerte.

### Fahrmuster

Ein *Fahrmuster* ist die Beschreibung des repräsentativen Fahrverhaltens für bestimmte Straßensituationen in der Form von zusammengesetzten Fahrprofilen bzw. einer Stichprobe daraus. Sie werden aus realen Fahrten erzeugt, stellen aber keine geschlossene Fahrkurve dar, so daß sie z.B. für Emissionsmessungen auf einem Rollenprüfstand in ihrer Gesamtheit nicht nachgefahren werden können.

### Fahrprofil

Das *Fahrprofil* ist die Gesamtheit der Fahrkurven eines Streckenabschnittes (teilweise untergliedert nach Tageszeiten) in Form von hintereinandergesetzten Fahrkurven bzw. den mittleren Kennwerten derselben. Der Begriff des Fahrprofils wird hier auch für Geschwindigkeit/Zeit-Reihen verwendet.

### Fahrtweite

Die *Fahrtweite* ist der zurückgelegte Weg innerhalb einer Fahrt.

### Haltezeitanteil

*Haltezeitanteil* ist der prozentuale Anteil von Sekundenwerten mit einer Geschwindigkeit kleiner als 3km/h an der Gesamtfahrzeit.

### Kennwerte des Fahrverhaltens

Die *Kennwerte des Fahrverhaltens* sind statistische Maßzahlen zur Beschreibung des Fahrverhaltens, z.B. die mittlere Geschwindigkeit.

### Konstantfahrtanteil

*Konstantfahrtanteil* ist der prozentuale Anteil der Zeiten mit einer Beschleunigung kleiner  $0,3\text{m/s}^2$  und größer  $-0,3\text{m/s}^2$  an der Gesamtfahrzeit.



## Messfahrten

*Messfahrten* sind Fahrten mit einem Messfahrzeug zur Aufnahme des Fahrverhaltens; die Fahrweisung erfolgt nach verschiedenen Methoden:

**Mitschwimmen** (car floating): Anweisung an den Fahrer des Messfahrzeuges, sich dem allgemeinen Fahrverhalten anzupassen, um dieses möglichst gut abzubilden

**Musterfahrten**: Anweisung an den Fahrer des Messfahrzeuges, ein bestimmtes vorgegebenes Fahrverhalten möglichst einzuhalten (z.B. eine konstante Geschwindigkeit oder eine möglichst aggressive Fahrweise)

**Verfolgungsfahrten** (car following): Anweisung an den Fahrer des Messfahrzeuges, einem einzelnen Fahrzeug genau zu folgen und dessen Fahrverhalten möglichst gut abzubilden

## Messstrecke

Eine *Messstrecke* ist ein ausgewählter Straßenzug, der mit einem Fahrzeug durchfahren wurde, um das Fahrverhalten aufzunehmen.

## Reisegeschwindigkeit

Die *Reisegeschwindigkeit* ist die Geschwindigkeit eines Fahrzeuges über einen Streckenabschnitt einschließlich aller Halte.

## Standzeit

Die *Standzeit* ist die Zeit zwischen Ende einer Fahrt und Beginn der nächsten.

## Streckenabschnitt

Ein *Streckenabschnitt* ist der Abschnitt einer Messstrecke mit homogener Streckencharakteristik, auf dem ein gleichbleibendes Fahrverhalten erwartet werden kann.



## 1 Einordnung

Das „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (HBEFA) ist die standardmäßige Grundlage für Emissionsberechnungen des Straßenverkehrs in Deutschland. Die Emissionsfaktorendatenbank wurde erstmals 1995 veröffentlicht und liegt seit März 2010 in der vierten Aktualisierungsversion als HBEFA3.1 vor. Darin wurde gegenüber der Vorgängerversion HBEFA2.1 aus dem Jahre 2004 nicht nur die Datenbasis der Emissionsfaktoren qualitativ verbessert bzw. erweitert, es wurde auch eine tiefgreifende Änderung in Struktur und Methodik der Verkehrssituationen vorgenommen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Übertragung der im Fachinformationssystem Umwelt und Verkehr (FIS) des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie verwendeten Verkehrssituationen der HBEFA Version 2.1 auf die in der Version 3.1 enthaltenen Verkehrssituation zu entwickeln, um die aktualisierten bzw. erweiterten Emissionsfaktoren des aktuellen Handbuches nutzen zu können.

## 2 Vorgehensweise

Entsprechend der Datenlage in HBEFA2.1 werden derzeit zur Abbildung des Fahrverhaltens im FIS bisher 24 Verkehrssituationen verwendet (5 Autobahn-, 4 Außerorts- sowie 15 Innerorts-Situationen). Diese Verkehrssituationen wurden dabei einerseits auf der Basis formaler Kriterien wie Straßenlage oder DTV (z.B. auf Außerortsstraßen, Autobahnen) zugeordnet, aber auch durch aufwändige Messfahrten empirisch ermittelt. Die Verkehrssituationen liegen dabei als Kombination aus HBEFA-Verkehrssituation (Regelverkehrssituation) und einem Stop&Go-Anteil vor.

Bei der Bestimmung der Verkehrssituationen durch Messfahrten wurde das tatsächliche Fahrverhalten zu Grunde gelegt, die verbale Beschreibung blieb dabei unberücksichtigt. Um die Ergebnisse dieser Untersuchungen auf die Emissionsfaktoren des HBEFA3.1 übertragen zu können, war es notwendig, den vorhandenen HBEFA2.1-Verkehrssituationen entsprechend des Fahrverhaltens Verkehrssituationen nach HBEFA3.1 zuzuordnen. Dazu wurden die Rohdaten dieser Messfahrten unter Berücksichtigung der Fahrverhaltenskennwerte der HBEFA3.1-Verkehrssituationen neu ausgewertet.

Basis der Arbeit waren die auf dem Hauptstraßennetz der Städte Dresden und Chemnitz im Rahmen zweier Untersuchungen<sup>1</sup> mittels Messfahrten gesammelten Datensätze fahrdynamischer Parameter (Fahrverhaltenskennwerte). Darin lagen der Tagesgang des Fahrverhaltens abschnittsfein und richtungsgetreunt vor.

---

<sup>1</sup>TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, Bestimmung der Verkehrssituationen auf ausgewählten Hauptstraßen der Stadt Dresden, Untersuchung im Auftrag des Amtes für Umweltschutz der Landeshauptstadt Dresden, Dresden Januar 2010  
TU Dresden, Lehrstuhl für Verkehrsökologie, Bestimmung der Verkehrssituationen auf ausgewählten Hauptstraßen der Stadt Chemnitz, Untersuchung im Auftrag des Umweltamtes der Stadt Chemnitz, Dresden Mai 2010



Verkehrssituationen, die im FIS verwendet werden, für die jedoch keine Messdaten vorlagen, wurden auf Basis der mittleren Reisegeschwindigkeiten zugeordnet. Das betraf im Wesentlichen Außerorts- und Autobahnverkehrssituationen, die keinen bzw. nur einen sehr geringen Standanteil aufweisen.

Im FIS werden für Strecken, für die keine Daten aus Messfahrt-Untersuchungen vorliegen, mittlere Verkehrssituationen verwendet. So wird z.B. im Innerortsbereich in Abhängigkeit von der Straßenkategorie eine mittlere Verkehrssituation auf Nebenstraßen bzw. auf Hauptstraßen zugeordnet. Dieser Mix aus HBEFA-Verkehrssituationen ist so gestaltet, dass der mittlere Emissionsfaktor auf Nebenstraßen höher ist als auf Hauptstraßen.

Um diese Relationen zu gewährleisten, wurde nach erfolgter Zuordnung der Verkehrssituationen ein Vergleich der entsprechenden Emissionsfaktoren ausgewählter Schadstoffe vorgenommen.

### 3 Übertragung der Verkehrssituation

#### 3.1 Übertragung der Regelverkehrssituation

Die Verkehrssituationen in HBEFA2.1 basieren auf Fahrmustern, die in einer umfangreichen Untersuchung im realen Straßenverkehr ermittelt wurden<sup>2</sup>. Die Fahrmuster werden dabei durch die Fahrverhaltenskennwerte

- Reisegeschwindigkeit,
- Standanteil,
- Anteil Konstantfahrt sowie
- vxb-Wert (Produkt aus Geschwindigkeit und Beschleunigung)

unter Angabe der Perzentilwerte zur statistischen Beschreibung der Mittelwerte definiert.

In HBEFA3.1 werden aus Kombination der Kriterien

- Gebiet (Agglomerationsraum, ländliche geprägter Raum)
- Straßentyp (Autobahn, Fernstraßen, Hauptverkehrsstraßen, Sammelstraßen, Erschließungsstraßen)
- Tempolimit sowie
- Level of service (LOS) (flüssig, dicht, gesättigt, Stop&Go)

insgesamt 276 Verkehrssituationen definiert.

Als Fahrverhaltenskennwerte werden dazu jeweils die

- Reisegeschwindigkeit,
- Standanteil,
- RPA (relative positive acceleration)

angegeben.

---

<sup>2</sup> Untersuchungen des repräsentativen Fahrverhaltens von PKW auf Stadt- und Landstraßen; Heusch/Boesefeldt, 1993



Der RPA ist die geschwindigkeitsbezogene durchschnittliche positive Beschleunigung der Fahrzeuge und wird folgendermaßen berechnet:

$$RPA = \frac{\int_0^T (v_i * a_i^+) * dt}{x}$$

Dabei stellt T die Gesamt-Fahrzeit, x die Gesamt-Fahrstrecke, v die Momentangeschwindigkeit und a die Momentanbeschleunigung dar.

Das Ergebnis der Zuordnung der Regelverkehrssituationen ist in Tabelle 3-1 dargestellt - die detaillierten Auswertungen für die einzelnen Verkehrssituationen sind im Anhang enthalten.

Wie in 2 beschrieben, erfolgte die Zuordnung entsprechend der Datenlage für die Innerortsverkehrssituationen durch Auswertung der Messfahrten, für die übrigen auf Basis der zur Beschreibung der Verkehrssituationen im HBEFA angegebenen Reisegeschwindigkeiten.

Anteil HBEFA2.1	VS HBEFA2.1	Zuordnung <sup>1)</sup>	Anteil HBEFA3.1	VS HBEFA3.1
100%	AB>120	vReise	100%	Land/AB/130/fluessig
100%	AB_100	vReise	100%	Land/AB/100/fluessig
100%	AB_80	vReise	100%	Land/AB/80/fluessig
100%	AO_1	vReise	100%	Land/FernStr/80/fluessig
100%	AO_2	vReise	100%	Land/FernStr/70/fluessig
100%	AO_3	vReise	100%	Land/HVS-kurv./80/fluessig
100%	IO_HVS>50_2	Messfahrten	100%	Agglo/FernStr-City/50/fluessig
100%	IO_HVS1	Messfahrten	100%	Agglo/HVS/60/fluessig
100%	IO_HVS2	Messfahrten	100%	Agglo/HVS/50/fluessig
100%	IO_HVS3	Messfahrten	100%	Agglo/FernStr-City/50/dicht
100%	IO_HVS4	Messfahrten	100%	Agglo/Sammel/50/dicht
100%	IO_LSA1	Messfahrten	100%	Agglo/FernStr-City/50/dicht
100%	IO_LSA2	Messfahrten	100%	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
100%	IO_LSA3	Messfahrten	100%	Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt
100%	IO_Kern	Messfahrten	60%	Agglo/Sammel/50/gesaettigt
			40%	Agglo/Sammel/50/Stop&Go
100%	IO_Nebenstr_dicht	Messfahrten	60%	Agglo/Erschliessung/30/gesaettigt
			40%	Agglo/Erschliessung/30/Stop&Go

<sup>1)</sup> : Messfahrten –auf Basis von Messfahrten / vReise – über Reisegeschwindigkeit

Tabelle 3-1: Zuordnung der Regelverkehrssituationen

Auf Grund der größeren Differenzierung der Verkehrssituationen in HBEFA3.1 wurden den messtechnisch erfassten HBEFA2.1-Situationen mehrere HBEFA3.1-Situationen zugeordnet. Für die Streckenabschnitte des Dresdner bzw. Chemnitzer Straßennetzes wurde diese detailliertere Zuordnung im FIS übernommen. Für alle anderen Strecken im FIS musste jedoch eine repräsentative Verkehrssituation ermittelt werden. Diese waren in der Regel die



3.1-Situationen, die einer 2.1-Situation am Häufigsten zugeordnet wurden. Dabei wurde jedoch auch die verbale Beschreibung – insbesondere das Gebiet (Agglomeration / ländlicher Raum) - der HBEFA3.1-Situation berücksichtigt.

Die Übertragung der Verkehrssituationen IO\_Kern und IO\_Nebenstraße\_dicht zu einer HBEFA3.1-Situation war nicht eindeutig möglich. In HBEFA3.1 besteht ein großer Sprung – sowohl bzgl. der Emissionsfaktoren, als auch der Fahrverhaltenskennwerte – zwischen den Verkehrssituationen der Servicestufen „gesättigt“ und „Stop&Go“. Da jedoch bereits die HBEFA2.1-Situation IO\_LSA3 einer Verkehrssituation mit LOS „gesättigt“ zugeordnet wurde, existiert für IO\_Kern und IO\_Nebenstraße\_dicht keine zwischen IO\_LSA3 und IO\_Stop&Go gelegene Zuordnungsmöglichkeit. Da ein Verzicht auf diese Differenzierung jedoch mit einem erheblichen Genauigkeitsverlust verbunden wäre, wurde diese „Lücke“ durch Linearkombinationen aus HBEFA3.1-Verkehrssituationen im LOS „gesättigt“ und „Stop&Go“ geschlossen. Bestimmender fahrdynamischer Parameter war dabei die Geschwindigkeit.

Die Darstellungen in Abbildung 3-1 und Abbildung 3-2 zeigen vergleichend die NO<sub>x</sub>- bzw. PM10-Emissionsfaktoren für PKW (Bezugsjahr 2010) nach HBEFA2.1 zu HBEFA3.1 entsprechend der zugeordneten Verkehrssituationen. Danach liegt das Niveau der Emissionsfaktoren in HBEFA3.1 allgemein über dem der Faktoren in HBEFA2.1. Bei PM10 liegt das einerseits darin begründet, dass in HBEFA3.1 im Gegensatz zu 2.1 auch für benzingetriebene Fahrzeuge PM10-Emissionsfaktoren ausgewiesen werden, andererseits wurden in HBEFA3.1 aber auch allgemein durch nunmehr verfügbare Messwerte für EURO4 und EURO5-Fahrzeuge die zum Teil prognostizierten Emissionsfaktoren aus HBEFA2.1 nach oben korrigiert.

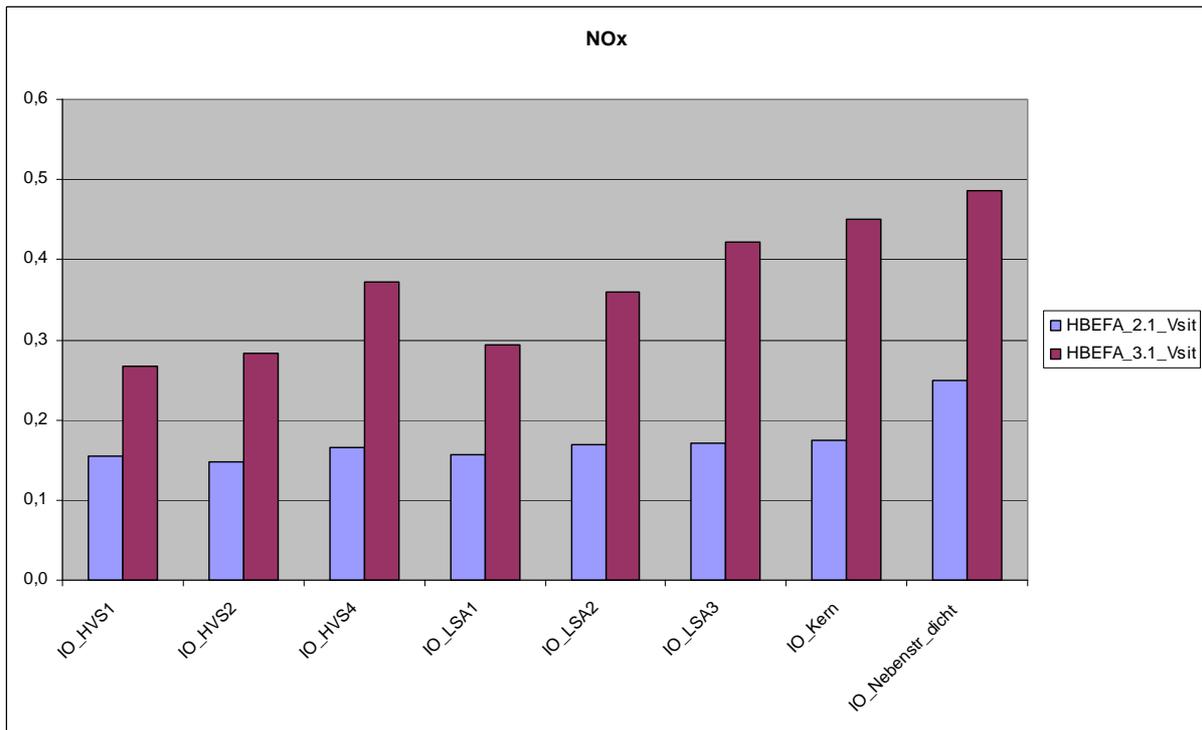


Abbildung 3-1: Vergleich NO<sub>x</sub>- Emissionsfaktoren HBEFA2.1 / HBEFA3.1 (PKW 2010)

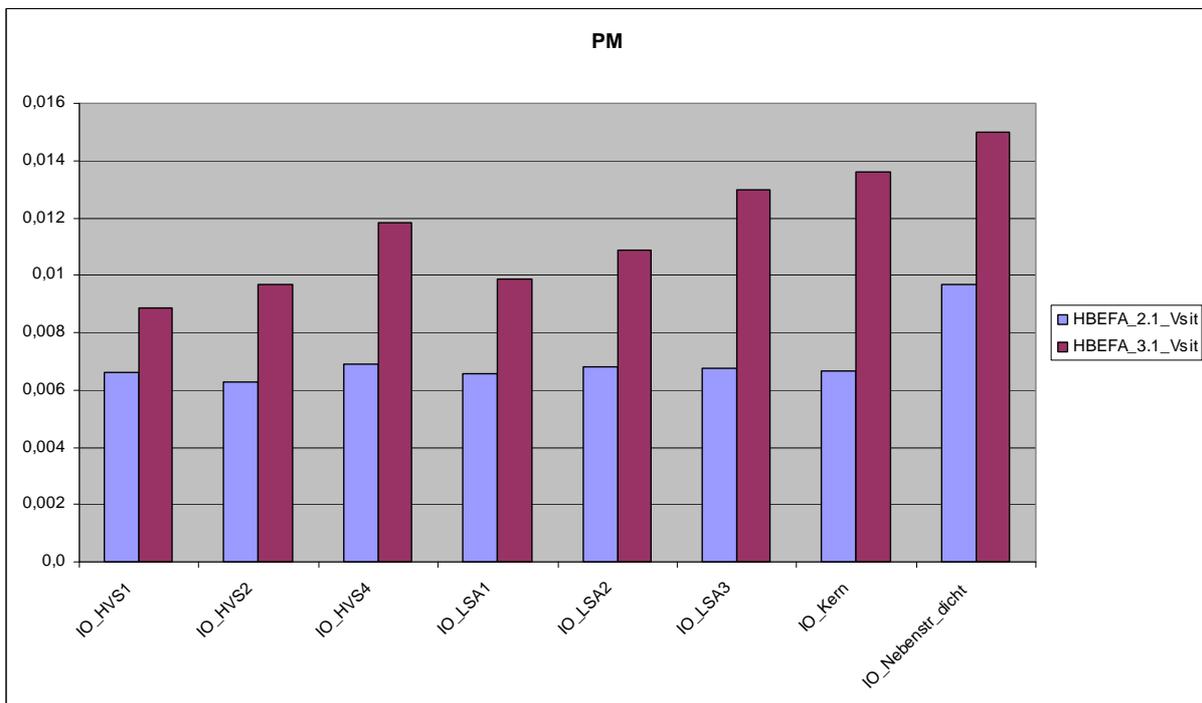


Abbildung 3-2: Vergleich PM<sub>10</sub>- Emissionsfaktoren HBEFA2.1 / HBEFA3.1 (PKW 2010)



### 3.2 Übertragung der Stop&Go-Anteile

Für die HBEFA2.1- Stop&Go-Verkehrssituation ist auf Grund der Neustrukturierung der Verkehrssituationen in HBEFA3.1 keine direkte Übertragung möglich. In HBEFA2.1 wird Stop&Go durch eine sehr strenge Definition bzgl. des Fahrverhaltens und dementsprechend mit einer mittleren Reisegeschwindigkeit von 5,3km/h beschrieben. Dementsprechend hoch ist in HBEFA2.1 auch der Unterschied zwischen den Emissionsfaktoren der Regelverkehrssituationen und denen des Stop&Go (siehe Abbildung 3-3). In dieser, exemplarisch für PKW-NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren dargestellten Abbildung, liegt der Stop&Go-EFA ca. 120% über dem der nächst schlechteren Verkehrssituation. Ein Verkehrsverhalten, das der Stop&Go-Definition nach HBEFA2.1 entspricht, kommt als 100%-Tagesmittelwert für einen Gesamtquerschnitt in der Praxis nicht vor. Im FIS wird deshalb die Verkehrssituation Stop&Go auch nur anteilmäßig in Kombination mit einer Regelverkehrssituation gebraucht.

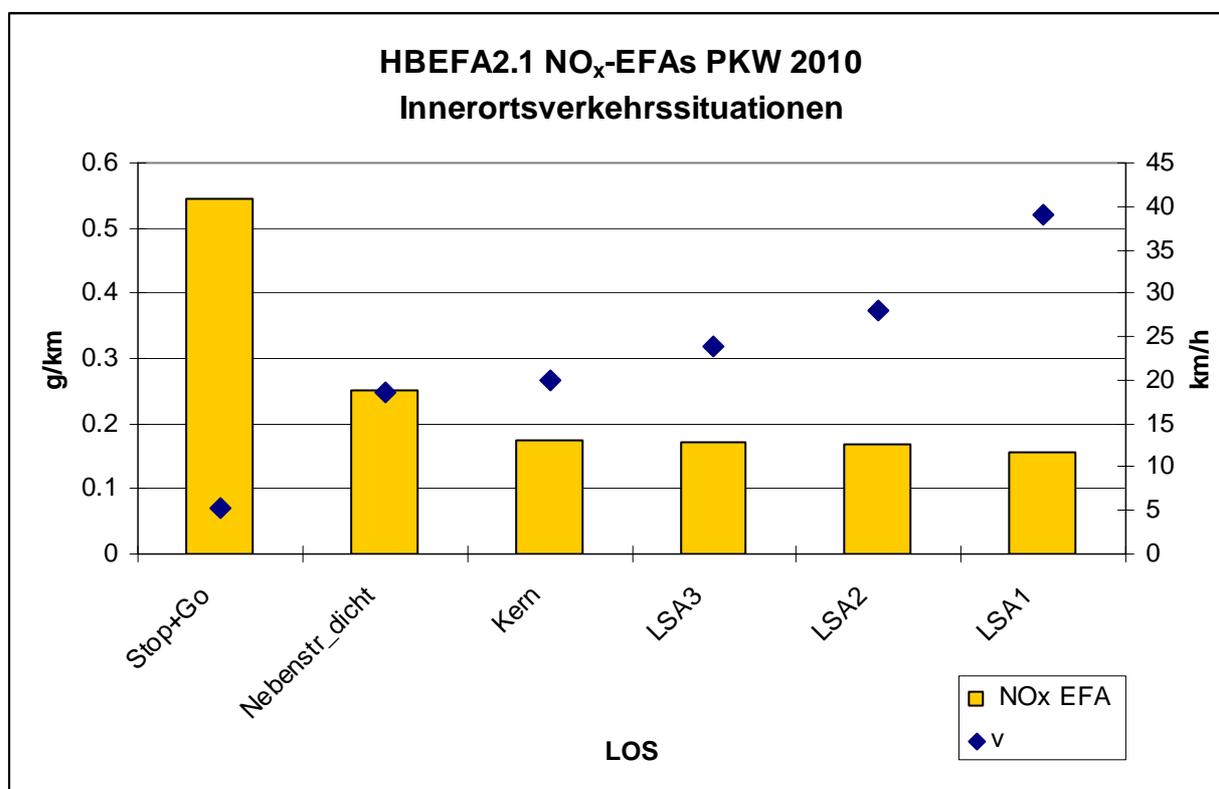


Abbildung 3-3: HBEFA2.1-NO<sub>x</sub>-EFAs Innerortsverkehrssituationen

In HBEFA3.1 weisen die Verkehrssituationen mit den geringsten Reisegeschwindigkeiten, Agglomeration/Innerortsstraßen/Stop&Go, mit 12,7km/h einen deutlich höheren Wert als die Stop&Go-Situation nach HBEFA2.1 auf. Auf Grund dieser „Verbesserung“ der Fahrverhaltenskennwerte ist auch der Unterschied zwischen den Emissionsfaktoren des LOS „Stop&Go“ und dem nächst schlechteren, „gesättigt“, nicht so hoch wie in HBEFA2.1. Nach der Darstellung in Abbildung 3-4 beträgt dieser Unterschied lediglich ca.60%.

Diese Werte beziehen auf die Verkehrssituation Agglomeration/Sammelstraße/Tempolimit 50km/h. In HBEFA3.1 unterscheidet sich das Fahrverhalten, und dementsprechend das E-

missionsverhalten bei einem LOS „Stop&Go“ auf Innerortsstraßen jedoch nicht, d.h. es gibt, unabhängig von Straßentyp und Tempolimit, nur eine einzige Innerorts-Stop&Go-Verkehrssituation, sodass die Darstellung in Abbildung 3-4 nahezu repräsentativ ist.

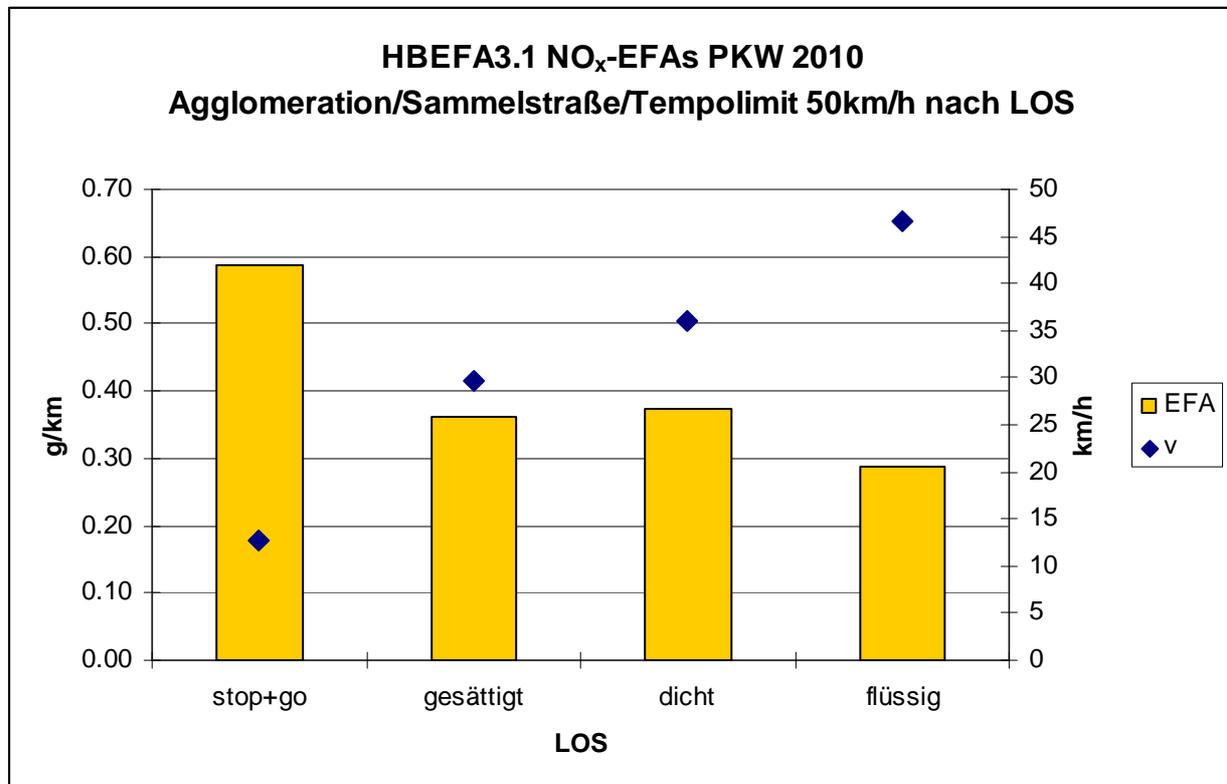


Abbildung 3-4: HBEFA3.1-NO<sub>x</sub>-EFAs Innerortsverkehrssituationen nach LOS

Die Aufgabe bestand demzufolge nicht darin, eine 100%ige Zuordnung der HBEFA2.1-Stop&Go-Situation zu einer Verkehrssituation nach HBEFA3.1 zu ermitteln, sondern vielmehr, den Einfluss des Anteils, den die Stop&Go-Situation in Kombination mit einer Regelverkehrssituation auf das Fahrverhalten und somit auf den Emissionsfaktor der Gesamtverkehrssituation hat, zu berechnen und über die HBEFA3.1-Verkehrssituationen abzubilden.

Hierzu wurden die Daten der Messfahrten, in denen Stop&Go-Anteile auftraten, stundenfein und richtungsgetrennt betrachtet und diesen Linearkombinationen aus Verkehrssituationen nach HBEFA3.1 (LOS „gesättigt“ + Anteil LOS „Stop&Go“) zugeordnet. Anschließend wurden die Werte über Tagesganglinien zu querschnittsbezogenen Tagesmittelwerten gewichtet.

Diese Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen der Auswertung nach HBEFA2.1 verglichen, wobei sich ein linearer Zusammenhang mit guter Korrelation ergab (siehe Abbildung 3-5). Danach steigt die Regressionsgerade mit dem Faktor 3,3 an und schneidet den Koordinatenursprung. Die Analyse beruht auf 21 Wertepaaren, wobei der Korrelationskoeffizient bei 0,98 liegt.

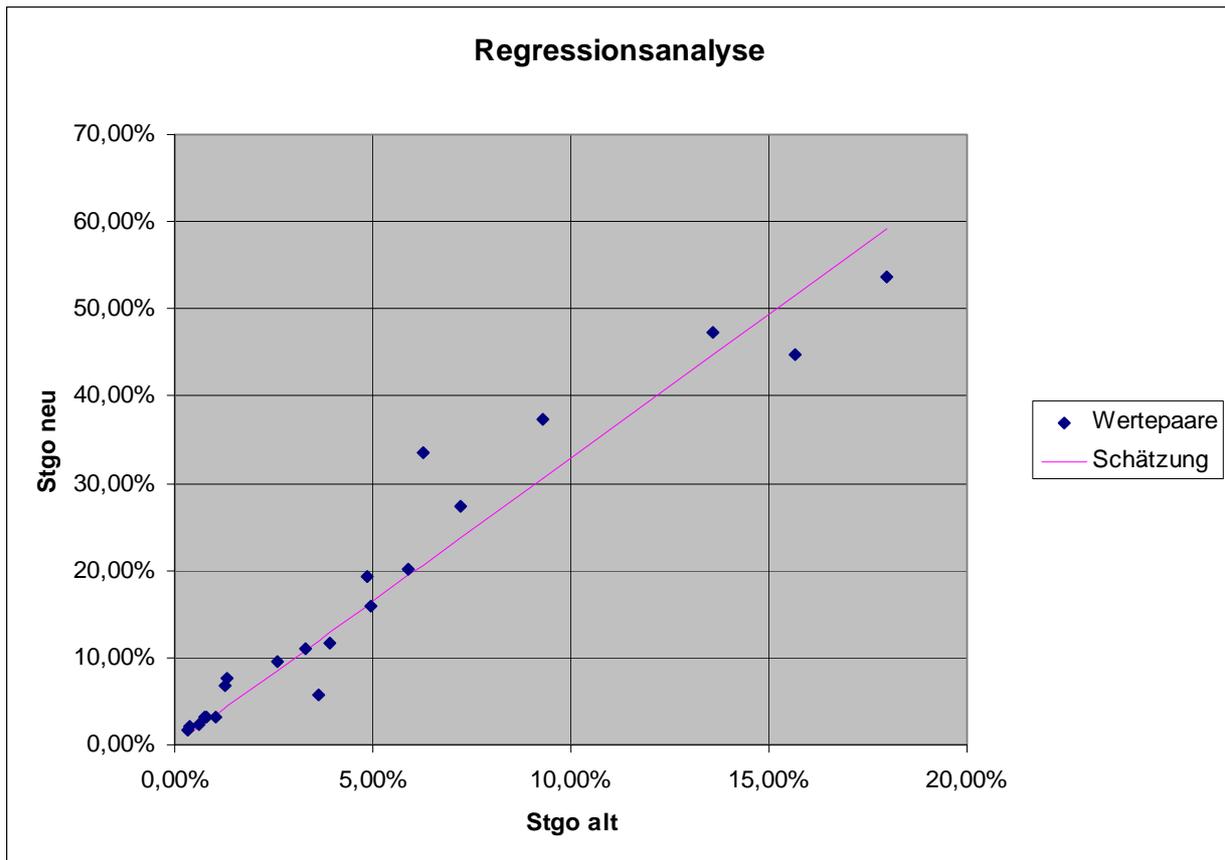


Abbildung 3-5: Vergleich Stop&Go-Anteile HBEFA2.1 / HBEFA3.1

Die HBEFA2.1-Stop&Go-Anteile werden demnach bei einer Höhe von bis zu 30% mit dem Faktor 3,3 multipliziert, die Übertragung der Regelverkehrssituation erfolgt nach Tabelle 3-1. Stop&Go-Anteile über 30% werden zu 100% auf eine HBEFA3.1-Innerortsverkehrssituation im LOS „Stop&Go“ übertragen. Welche der HBEFA3.1-Innerortsverkehrssituationen dabei verwendet wird ist egal, da, wie o.a., die Emissionsfaktoren im LOS „Stop&Go“ bei allen Innerortsverkehrssituationen gleich sind.



## Literatur

*/1/ Heusch/ Boesefeldt, TÜV Rheinland*

Untersuchungen des repräsentativen Fahrverhaltens von PKW auf Stadt- und Landstraßen; Heusch/Boesefeldt Beratende Ingenieure für Verkehrstechnik und Datenverarbeitung GmbH, Aachen und TÜV Rheinland, Köln; im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, 1993

*/2/ INFRAS AG , Bern*

Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 2.1 (CD-ROM), im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Dezember 2004

*/3/ INFRAS AG , Bern*

Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 3.1 (CD-ROM), im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin, Dezember 2010



## **ANHANG**

<b>Bild</b>	<b>A.1</b>	<b>HVS1</b>
<b>Bild</b>	<b>A.2</b>	<b>HVS2</b>
<b>Bild</b>	<b>A.3</b>	<b>HVS4</b>
<b>Bild</b>	<b>A.4</b>	<b>LSA1 / HVS3</b>
<b>Bild</b>	<b>A.5</b>	<b>LSA2</b>
<b>Bild</b>	<b>A.6</b>	<b>LSA3</b>
<b>Bild</b>	<b>A.6</b>	<b>Kern</b>
<b>Bild</b>	<b>A.6</b>	<b>Nebenstr_dicht</b>



## Bild A.1 HVS1

<b>HBEFA V2.1 VS</b>	<b>IO_HVS1</b>
<b>HBEFA V3.1 VS</b>	<b>Agglo/HVS/60/flüssig</b>
Anzahl Datensätze	Gering (5)
Alternative HBEFA V3.1 VS	Agglo/FernStr-City/60/fluessig, Agglo/AB-City/60/dicht

Fahrdynamische Parameter typischer Abschnitte der HBEFA 2.1 Verkehrssituation:

Stadt	Straße	von	nach	V_Reise	Standanteil	RPA
Chemnitz	Leipziger Straße	Wildparkstraße	Heidelberger Straße	53	3,6%	0,14
Chemnitz	Zschopauer Straße	Shakespearestraße	Altenhainer Dorfstraße	53	0%	0,35

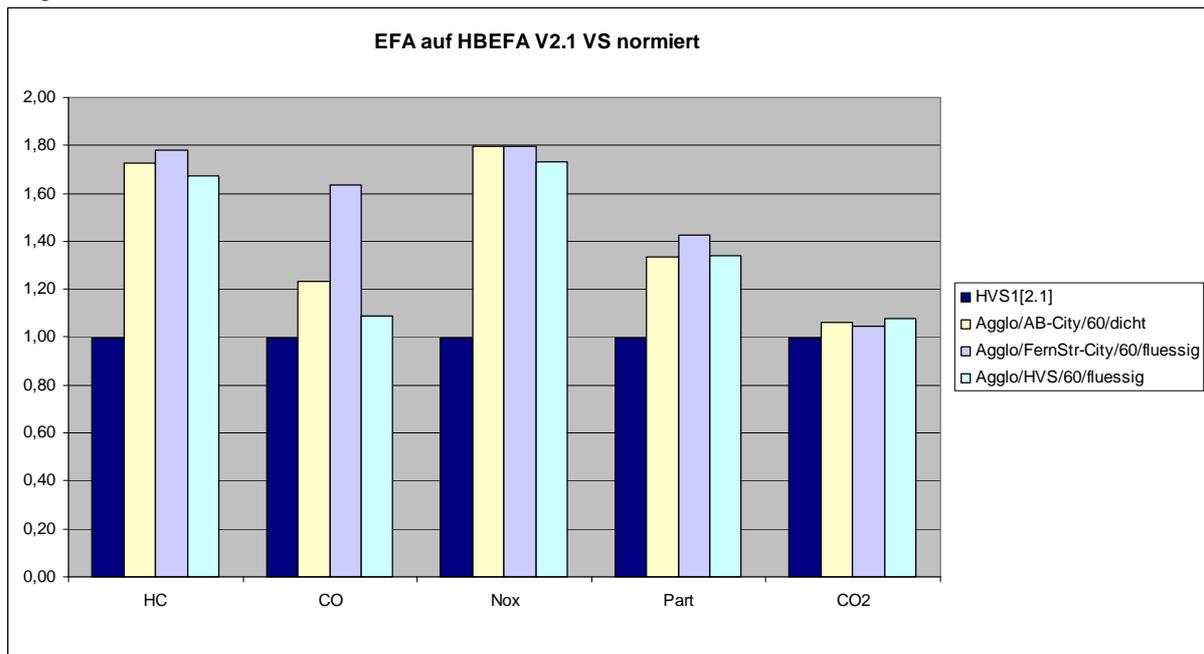
Fahrdynamische Parameter der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation:

Name	V_Reise	Standanteil	RPA
Agglo/HVS/60/flüssig	52	2%	0,16

Verteilung der Zuordnung:

Name	Anteil
Agglo/HVS/60/flüssig	40%
Agglo/FernStr-City/60/fluessig	40%
Agglo/AB-City/60/dicht	20%

Vergleich der Emissionsfaktoren:



Emissionsfaktoren der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation [g/km]:

Name	HC	CO	NOx	Part	CO2
Agglo/HVS/60/flüssig	0,0281	0,3635	0,2678	0,0089	141,1



## Bild A.2 HVS2

<b>HBEFA V2.1 VS</b>	<b>IO_HVS2</b>
<b>HBEFA V3.1 VS</b>	<b>Agglo/HVS/50/fluessig</b>
Anzahl Datensätze	Mittel (29)
Alternative HBEFA V3.1 VS	Agglo/Sammel/50/flüssig, Agglo/FernStr-City/50/fluessig, Agglo/AB-City/60/dicht, Agglo/HVS/60/flüssig

Fahrdynamische Parameter typischer Abschnitte der HBEFA 2.1 Verkehrssituation:

Stadt	Straße	von	nach	V_Reise	Standanteil	RPA
Dresden	Fritz-Löffler-Straße	LSA Fritz-Löffler-Platz	LSA Strehleener Straße	48	0%	0,16
Chemnitz	Annaberger Straße	Reichsstraße	Treffurthstraße	45	2%	0,18

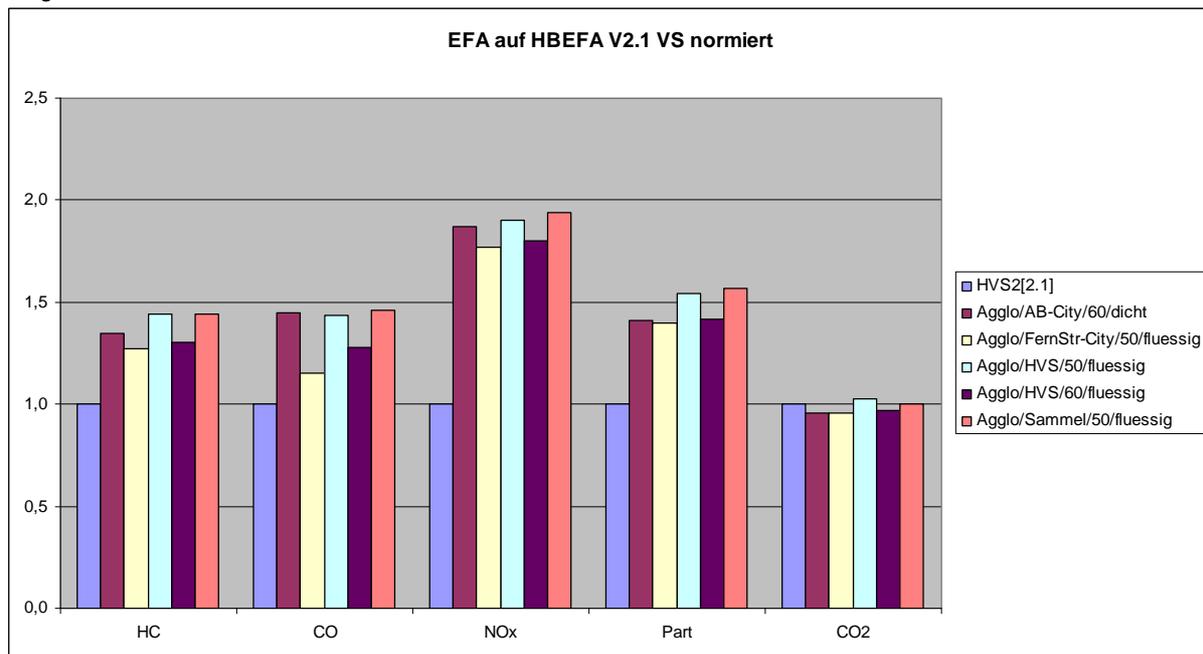
Fahrdynamische Parameter der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation:

Name	V_Reise	Standanteil	RPA
Agglo/HVS/50/fluessig	45	0,16	2%

Verteilung der Zuordnung:

Name	Anteil
Agglo/HVS/60/flüssig	3,45%
Agglo/HVS/50/flüssig	58,62%
Agglo/Sammel/50/flüssig	24,14%
Agglo/FernStr-City/50/fluessig	10,34%
Agglo/AB-City/60/dicht	3,45%

Vergleich der Emissionsfaktoren:



Emissionsfaktoren der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation [g/km]:

Name	HC	CO	NOx	Part	CO2
Agglo/HVS/50/flüssig	0,031	0,409	0,283	0,010	148,554



### Bild A.3 HVS4

HBEFA V2.1 VS	IO_HVS4
HBEFA V3.1 VS	Agglo/Sammel/50/dicht
Anzahl Datensätze	Mittel (34)
Alternative HBEFA V3.1 VS	Agglo/Erschliessung/30/fluessig, Agglo/Erschliessung/40/fluessig, Agglo/Sammel/50/gesaettigt, Agglo/HVS/60/gesaettigt, Agglo/Erschliessung/50/dicht, Agglo/FernStr-City/50/gesaettigt, Agglo/HVS/50/gesaettigt, Land/Sammel/50/gesaettigt

Fahrdynamische Parameter typischer Abschnitte der HBEFA 2.1 Verkehrssituation:

Stadt	Straße	von	nach	V_Reise	Standanteil	RPA
Dresden	Schäferstraße	LSA Behringstraße	LSA Löbtauer Straße	32	11,7%	0,35
Chemnitz	Zwickauer Straße	Jagdschänkenstraße	Kopernikusstraße	35	11,2%	0,20

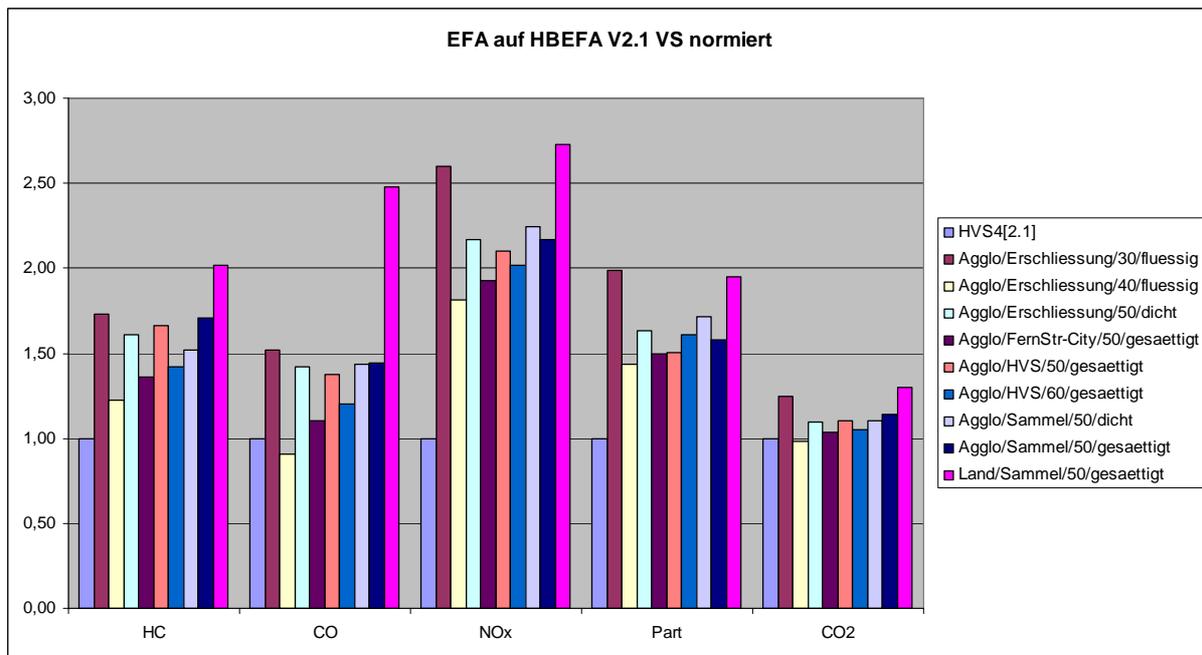
Fahrdynamische Parameter der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation:

Name	V_Reise	Standanteil	RPA
Agglo/Sammel/50/dicht	36	0,23	10%

Verteilung der Zuordnung:

Name	Anteil
Agglo/Erschliessung/30/fluessig	6,52%
Agglo/Erschliessung/40/fluessig	6,52%
Agglo/Sammel/50/gesaettigt	2,17%
Agglo/HVS/60/gesaettigt	8,70%
Agglo/Erschliessung/50/dicht	4,35%
Agglo/Sammel/50/dicht	43,48%
Agglo/FernStr-City/50/gesaettigt	6,52%
Agglo/HVS/50/gesaettigt	4,35%
Land/Sammel/50/gesaettigt	17,39%

Vergleich der Emissionsfaktoren:



Emissionsfaktoren der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation [g/km]:

Name	HC	CO	NOx	Part	CO2
Agglo/Sammel/50/dicht	0,040	0,511	0,373	0,012	179,107



## Bild A.4 LSA1 / HVS3

<b>HBEFA V2.1 VS</b>	<b>IO_LSA1/HVS3</b>
<b>HBEFA V3.1 VS</b>	<b>Agglo/FernStr-City/50/dicht</b>
Anzahl Datensätze	Hoch (69)
Alternative HBEFA V3.1 VS	Agglo/Erschliessung/30/fluessig, Agglo/Erschliessung/40/fluessig, Agglo/FernStr-City/60/dicht, Agglo/FernStr-City/60/gesaettigt, Agglo/HVS/50/dicht, Agglo/HVS/50/fluessig, Agglo/HVS/60/dicht, Agglo/Sammel/50/dicht

Fahrdynamische Parameter typischer Abschnitte der HBEFA 2.1 Verkehrssituation:

Stadt	Straße	von	nach	V_Reise	Standanteil	RPA
Dresden	Leipziger Straße	LSA Puschkinplatz	LSA Kötzschenbroder Straße	41	7,04%	0,15
Chemnitz	Annaberger Straße	Uhlestraße	W.-Seelenbinder-Str.	40	9,4%	0,20

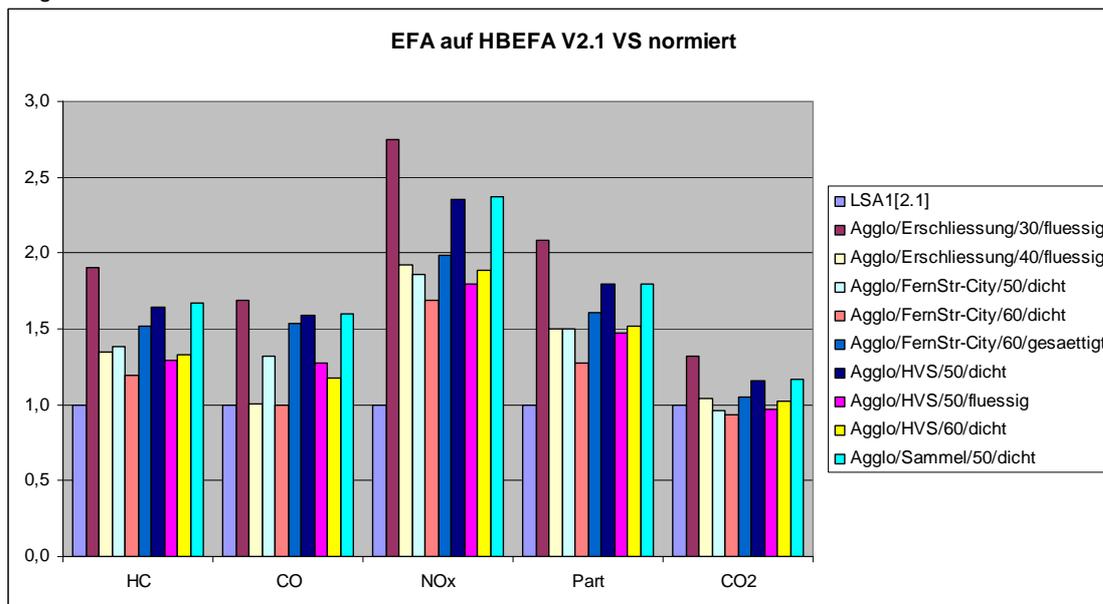
Fahrdynamische Parameter der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation:

Name	V_Reise	Standanteil	RPA
Agglo/FernStr-City/50/dicht	41	7%	0,16

Verteilung der Zuordnung:

Name	Anteil
Agglo/Erschliessung/30/fluessig	5,56%
Agglo/Erschliessung/40/fluessig	6,94%
Agglo/FernStr-City/50/dicht	22,22%
Agglo/FernStr-City/60/dicht	8,33%
Agglo/FernStr-City/60/gesaettigt	11,11%
Agglo/HVS/50/dicht	15,28%
Agglo/HVS/50/fluessig	13,89%
Agglo/HVS/60/dicht	5,56%
Agglo/Sammel/50/dicht	6,94%

Vergleich der Emissionsfaktoren:



Emissionsfaktoren der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation [g/km]:

Name	HC	CO	NOx	Part	CO2
Agglo/FernStr-City/50/dicht	0,033	0,423	0,293	0,010	147,523



## Bild A.5 LSA2

<b>HBEFA V2.1 VS</b>	<b>IO_LSA2</b>
<b>HBEFA V3.1 VS</b>	<b>Agglo/Sammel/50/gesättigt</b>
Anzahl Datensätze	Mittel (37)
Alternative HBEFA V3.1 VS	Agglo/Erschliessung/30/dicht, Agglo/Erschliessung/30/fluessig, Agglo/HVS/50/gesaettigt, Agglo/Erschliessung/50/gesättigt, Agglo/HVS/60/gesaettigt, Land/HVS-kurvig/50/dicht

Fahrdynamische Parameter typischer Abschnitte der HBEFA 2.1 Verkehrssituation:

Stadt	Straße	von	nach	V_Reise	Standanteil	RPA
Dresden	Karcherallee	LSA Stübelallee	LSA Winterbergstraße	29	25,58%	0,24
Chemnitz	Mühlenstraße	Georgstraße	Müllerstraße	30	24,2%	0,21

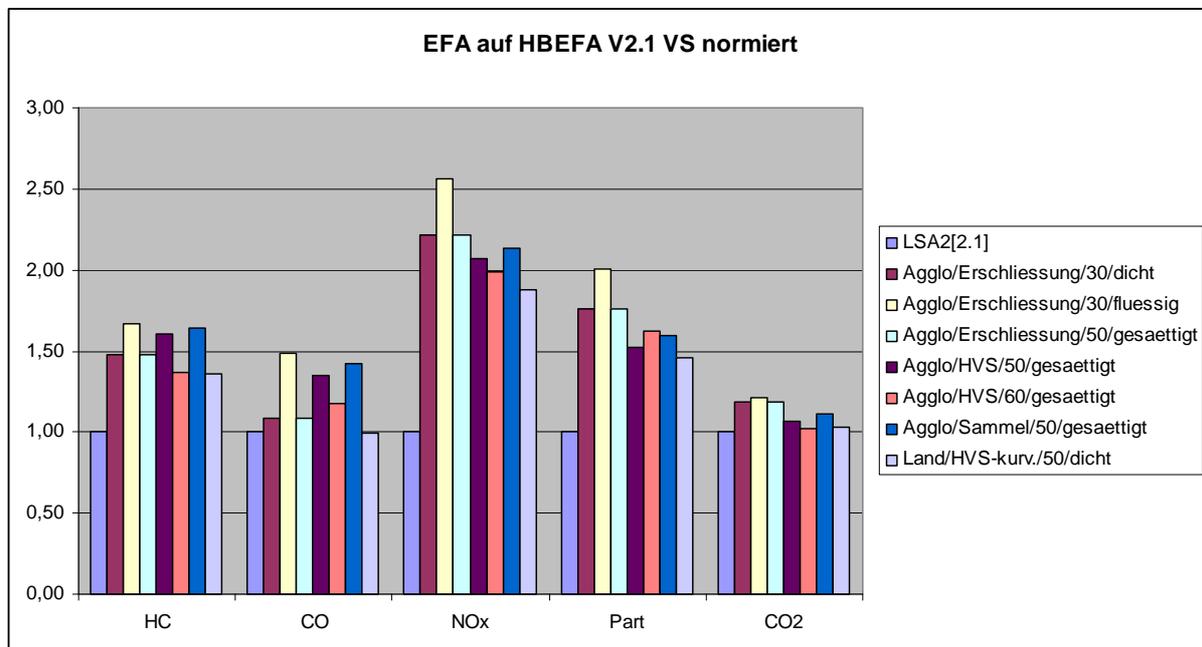
Fahrdynamische Parameter der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation:

Name	V_Reise	Standanteil	RPA
Agglo/Sammel/50/gesättigt	30	17%	0,23

Verteilung der Zuordnung:

Name	Anteil
Agglo/Erschliessung/30/dicht	8,33%
Agglo/Sammel/50/gesaettigt	16,67%
Agglo/Erschliessung/30/fluessig	2,78%
Agglo/HVS/50/gesaettigt	8,33%
Agglo/Erschliessung/50/gesättigt	2,78%
Agglo/HVS/60/gesaettigt	8,33%
Land/HVS-kurvig/50/dicht	52,78%

Vergleich der Emissionsfaktoren:



Emissionsfaktoren der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation [g/km]:

Name	HC	CO	NOx	Part	CO2
Agglo/Sammel/50/gesättigt	0,045	0,514	0,360	0,011	185,29



## Bild A.6 LSA3

HBEFA V2.1 VS	IO_LSA3
HBEFA V3.1 VS	Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt
Anzahl Datensätze	Hoch (57)
Alternative HBEFA V3.1 VS	Agglo/Erschliessung/30/dicht, Land/HVS-kurv./50/gesaettigt, Land/Sammel-kurv./50/gesaettigt, Land/Erschliessung/30/gesaettigt, Land/HVS-kurv./50/dicht

Fahrdynamische Parameter typischer Abschnitte der HBEFA 2.1 Verkehrssituation:

Stadt	Straße	von	nach	V_Reise	Standanteil	RPA
Dresden	Lennestraße	LSA Lenneplatz	LSA Straßburger Platz	25	32,1%	0,20
Chemnitz	Limbacher Straße	Barbarossastraße	Reichsstraße	25	22,4%	0,20

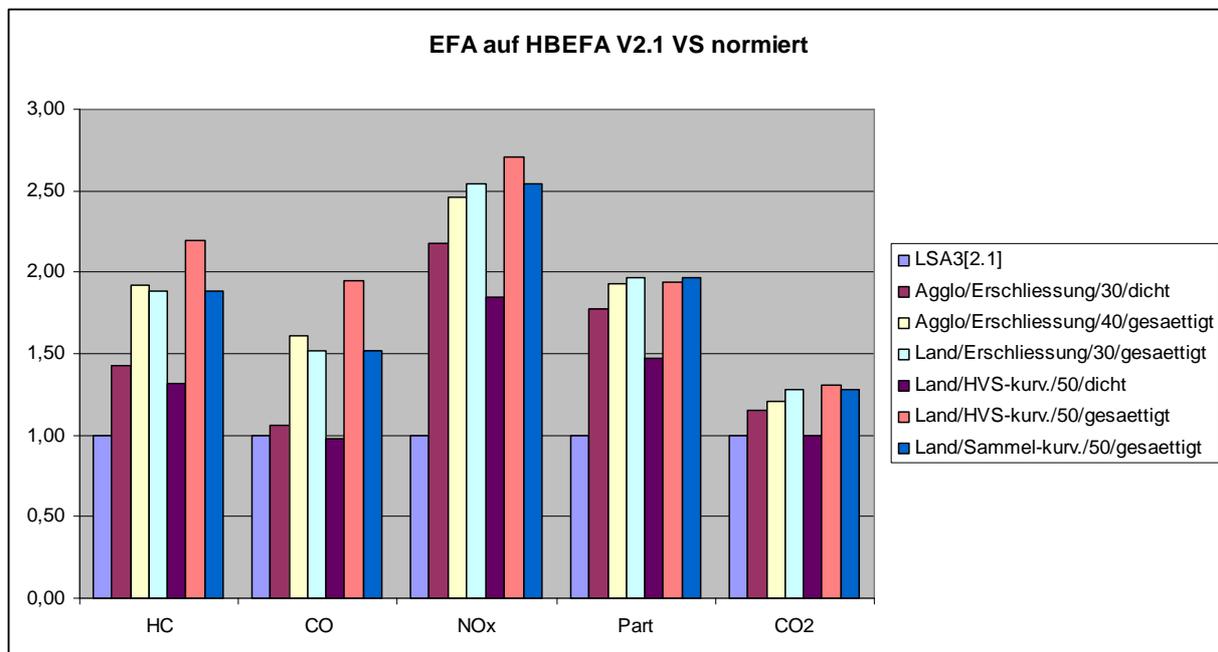
Fahrdynamische Parameter der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation:

Name	V_Reise	Standanteil	RPA
Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt	23	16%	0,21

Verteilung der Zuordnung:

Name	Anteil
Agglo/Erschliessung/30/dicht	3,45%
Land/HVS-kurv./50/gesaettigt	58,62%
Land/Sammel-kurv./50/gesaettigt	31,03%
Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt	1,72%
Land/Erschliessung/30/gesaettigt	3,45%
Land/HVS-kurv./50/dicht	1,72%

Vergleich der Emissionsfaktoren:



Emissionsfaktoren der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation [g/km]:

Name	HC	CO	NOx	Part	CO2
Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt	0,054	0,591	0,422	0,013	206,72



## Bild A.7 Kern

<b>HBEFA V2.1 VS</b>	<b>IO_Kern</b>
<b>HBEFA V3.1 VS</b>	<b>Keine direkte -&gt; Mix_Kern</b>
Anzahl Datensätze	Sehr hoch (76)
Alternative HBEFA V3.1 VS	Land/HVS-kurv./50/gesaettigt, Agglo/AB-City/80/stop+go, Land/HVS/50/stgo, Agglo/Sammel/50/stgo, Land/Sammel/50/gesaettigt

Fahrdynamische Parameter typischer Abschnitte der HBEFA 2.1 Verkehrssituation:

Stadt	Straße	von	nach	V_Reise	Standanteil	RPA
Dresden	Königsbrücker Straße	LSA Albertplatz	LSA Bischofsweg	13	49,5%	0,18
Chemnitz	Waisenstraße	Dresdner Platz	Bahnhofstraße	18	37,9%	0,22

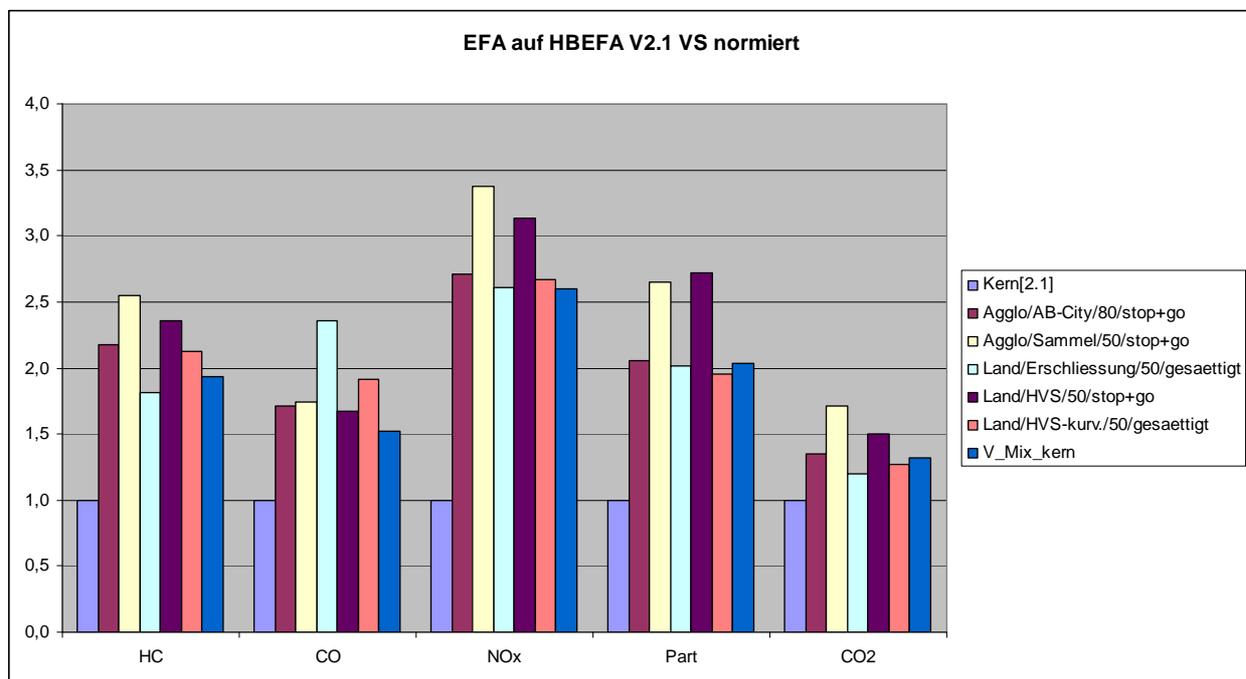
Fahrdynamische Parameter der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation:

Name	V_Reise	Standanteil	RPA
Mix_Kern	20		

Verteilung der Zuordnung:

Name	Anteil
Land/HVS-kurv./50/gesaettigt	47,95%
Agglo/AB-City/80/stop+go	5,48%
Land/HVS/50/stgo	16,44%
Agglo/Sammel/50/stgo	28,77%
Land/Sammel/50/gesaettigt	1,37%

Vergleich der Emissionsfaktoren:



Emissionsfaktoren der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation [g/km]:

Name	HC	CO	NOx	Part	CO2
Mix_Kern	0,057	0,569	0,451	0,014	231,62



## Bild A.8 Nebenstr\_dicht

<b>HBEFA V2.1 VS</b>	<b>IO_Nebenstr_dicht</b>
<b>HBEFA V3.1 VS</b>	<b>Keine direkte -&gt; Mix_NS</b>
Anzahl Datensätze	Sehr gering (2)
Alternative HBEFA V3.1 VS	Agglo/Erschliessung/30/dicht, Agglo/Erschliessung/30/gesaettigt, Agglo/Erschliessung/40/gesaettigt

Fahrdynamische Parameter typischer Abschnitte der HBEFA 2.1 Verkehrssituation:

Stadt	Straße	von	nach	V_Reise	Standanteil	RPA
Chemnitz	Clara-Zetkin-Straße	Zschopauer Straße	Reitbahnstraße	21	5,1%	0,25
Chemnitz	Zschopauer Straße	Georgistraße	Shakespearestr.	28	0,0%	0,12

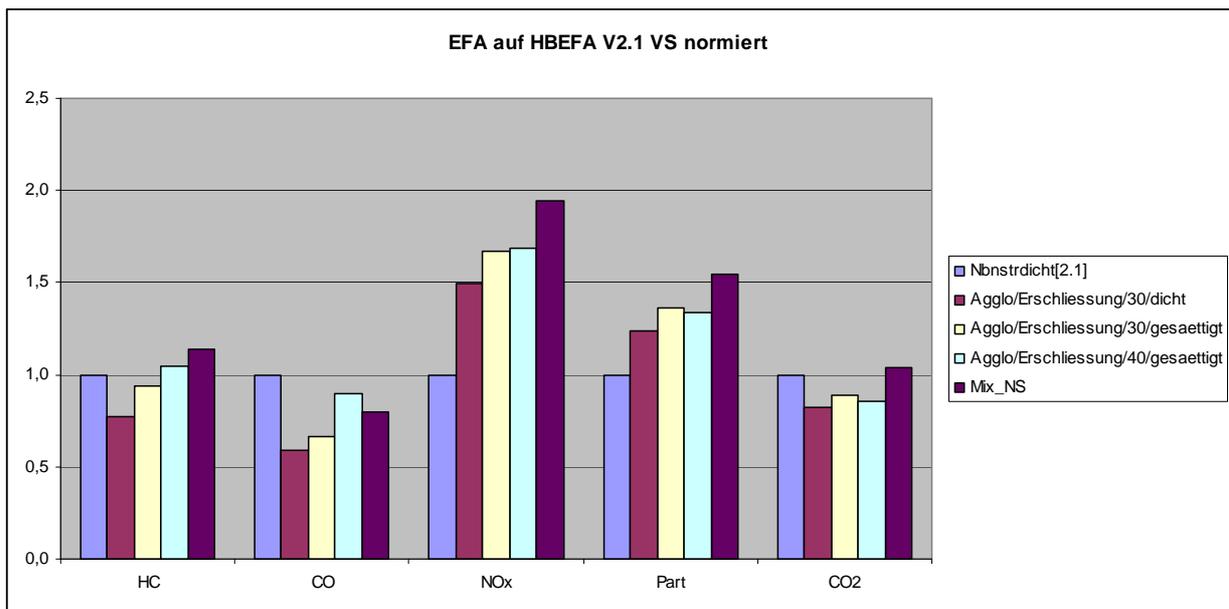
Fahrdynamische Parameter der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation:

Name	V_Reise	Standanteil	RPA
Mix_NS	17		

Verteilung der Zuordnung:

Name	Anteil
Agglo/Erschliessung/30/dicht	50%
Agglo/Erschliessung/30/fluessig	50%

Vergleich der Emissionsfaktoren:



Emissionsfaktoren der zugeordneten HBEFA 3.1 Verkehrssituation [g/km]:

Name	HC	CO	NOx	Part	CO2
Mix_NS	0,059	0,525	0,486	0,015	248,92