

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

URL: www.lohmeyer.de

2. Zwischenbericht vom 30.11.2010

VERURSACHER, FLÄCHEN- HAFTE BELASTUNG UND TENDENZEN FÜR PM2.5 IN SACHSEN - AKTUALISIERUNG 2009

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

01326 Dresden

Dipl.-Geogr. D. Bretschneider

Dipl.-Ing. W. Schmidt

Dr. rer. nat. I. Düring

Unter Mitarbeit der TU Dresden, Institut Verkehrsökologie und IFEU Heidelberg

November 2010
Projekt 70581-09-10_Aktualisierung_112010
Berichtsumfang 117 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUFGABENSTELLUNG	3
2	ERMITTLUNG DER TENDENZEN FÜR DIE PM2.5-BELASTUNG IN SACHSEN IM VERGLEICH ZUM BUNDESDEUTSCHEN TREND	4
2.1	Bewertung von PM2.5-Konzentrationen	4
2.2	Statistische Analyse der sächsischen Daten	4
2.2.1	Datenverfügbarkeit	5
2.2.2	Trends der PM2.5-Jahresmittelwerte.....	8
2.3	Vergleich mit bundesdeutschen Daten	15
2.4	Quantifizierung des meteorologischen Einflusses	18
2.5	Prüfung eines möglichen Bedarfs für die Weiterentwicklung des sächsischen Luftmessnetzes.	18
2.5.1	Rahmenbedingungen der 39. BImSchV	18
2.5.2	Redundante sowie für die flächenhafte Aussage in IMMIKART wichtige Messstandorte	18
3	WISSENSCHAFTLICHER STAND DER PM2.5-EMISSIONSBESTIMMUNG	19
3.1	Verursacher/Quellen	19
3.2	Straßenverkehrsbedingte PM2.5-Emissionen	21
3.2.1	Motorbedingte PM2.5-Emissionsfaktoren	21
3.2.2	Nicht motorbedingte PM2.5-Emissionsfaktoren.....	31
3.2.3	Schlussfolgerungen aus der PM2.5-Literaturrecherche für Straßenverkehr	46
3.3	Flug- und Schienenverkehrsbedingte PM2.5-Emissionen	47
3.4	Schiffsbedingte PM2.5-Emissionen	48
3.5	Industrie, Gewerbe und Hausbrand bedingte PM2.5-Emissionen	49
3.5.1	Gesetzliche emissionsseitige Regelungen zur Begrenzung von Staubbelastungen	49
3.5.2	Industrie/Gewerbe (Großfeuerungsanlagen, genehmigungsbedürftige Anlagen, sonstige Feuerungsanlagen)	49

3.6 Maschinen und Geräte in Land- und Bauwirtschaft.....	54
3.7 PM2.5-Emissionen BRD und Trendentwicklung vom Jahr 2000 bis 2020.....	56
4 ABSCHÄTZUNG VON VERKEHRSBEDINGTEN PM2.5-EMISSIONSFAKTOREN AN SÄCHSISCHEN MESSSTATIONEN	62
5 VORSCHLAG ZUR BESTIMMUNG DER SÄCHSISCHEN PM2.5-EMISSIONEN.....	63
5.1 Verkehrsbedingte PM2.5-Emissionen	63
5.1.1 Straßenverkehr.....	63
5.1.2 Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr.....	64
5.1.3 Landwirtschaftlicher Verkehr	64
5.2 Landwirtschaft	65
5.2.1 Feldarbeit und Nachbereitung der Ernte.....	65
5.2.2 Tierhaltung.....	67
5.3 Bautätigkeit.....	67
5.4 Industrie, Feuerungsanlagen.....	69
5.4.1 Genehmigungsbedürftige Anlagen/Industrie.....	69
5.4.2 Großfeuerungsanlagen.....	70
5.4.3 Kleinfeuerungsanlagen	71
6 PM2.5-IMMISSIONSKARTEN FÜR 2008, 2015 UND 2020	72
7 SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR MAßNAHMEN ZUR MINDERUNG DER PM2.5-BELASTUNGEN	75
7.1 Verursacher der PM2.5-Belastungen (Emissionsbilanzen)	75
7.2 Schlussfolgerungen für Minderungsmaßnahmen der PM2.5-Emissionen	75
8 LITERATUR	76
ANHANG A1: PM_x-EMISSIONSANTEILE (INDUSTRIE)	85
ANHANG A2: PM_x-EMISSIONSANTEILE (GROSSFEUERUNGSANLAGEN)	88
ANHANG A3: PM_x-EMISSIONSANTEILE (KLEINE FEUERUNGSANLAGEN).....	90

ANHANG A4: PM_x-EMISSIONSANTEILE (TIERHALTUNG).....	92
ANHANG A5: NICHTAUSPUFFBEDINGTE PARTIKELEMISSIONEN VON MASCHINEN UND GERÄTEN IN LAND- UND BAUWIRTSCHAFT	94

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 μg (oder mg) Schadstoff pro m^3 Luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder mg/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 mg/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 / 98-Perzentilwert / Kurzzeitwert (Äquivalentwert)

An den betrachteten Untersuchungspunkten unterliegen die Konzentrationen der Luftschadstoffe in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen etc. ständigen Schwankungen. Die Immissionskenngößen Jahresmittelwert, 98-Perzentilwert (=Konzentrationswert, der in 98 % der Zeit des Jahres unterschritten wird) 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. Der Gesetzgeber hat deshalb zusätzlich zum Jahresmittelwert so genannten Kurzzeitwerte der Konzentrationen eingeführt.

Die Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) fordert die Einhaltung von Kurzzeitwerten in Form des Stundenmittelwertes der NO₂-Konzentrationen von 200 µg/m³, der nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf, und des Tagesmittelwertes der PM10-Konzentration von 50 µg/m³, 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 98-Perzentil- bzw. Jahresmittelwerte. 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 Angaben über Schadstoffemissionen angegeben.

Feinstaub / PM10 / PM2.5

Mit Feinstaub bzw. PM10 / PM2.5 werden alle Partikel bezeichnet, die einen größenselektierenden Lufteinlass 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 Verbrennungsvorgänge und Sekundärpartikel.

1 AUFGABENSTELLUNG

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) ist u. a. zuständig für die Überwachung der Luftqualität und die Prüfung von Maßnahmen zur Einhaltung von Grenzwerten bzw. zur Verminderung von Luftverunreinigungen.

Mit der 39. BImSchV (2010) werden Ziel- und Grenzwerte für die Luftqualität mit Bezug auf die PM2.5-Konzentration festgelegt. PM2.5 in der Außenluft wird in Sachsen seit 1999 gemessen. Es liegen nur zur PM10-, nicht zur PM2.5-Emission, Erkenntnisse vor. In Vorbereitung auf die Anforderungen der o. g. Verordnung sollen die Datengrundlagen zu PM2.5 für Sachsen verbessert werden, um bei Bedarf geeignete Maßnahmen zur Minderung der PM2.5-Belastung ableiten zu können.

Wegen des langen Prognosezeitraumes (bis 2020) sollen auch die Auswirkungen der weiteren technischen Entwicklung auf die PM2.5-Immissionsbelastung abgeschätzt werden. Perspektivisch soll auch der Einfluss sich ändernder meteorologischer Bedingungen (Klimawandel) grob abgeschätzt werden.

Es sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Ermittlung der Tendenzen für die PM2.5-Belastung in Sachsen im Vergleich zum bundesdeutschen Trend, Abschätzung des meteorologischen Einflusses auf die PM2.5-Belastung
- Ermittlung der wesentlichen Verursacher für die PM2.5-Belastung in Sachsen, Vergleich mit deutschlandweiten Daten (inkl. einer Übersicht zu vorhandenen PM2.5-Emissionsfaktoren)
- Entwicklung einer Methodik zur flächenhaften Feststellung der PM2.5-Belastung auf der Basis der vorhandenen Immissionsmessungen, des Immissionskatasters für PM10 und der Erkenntnisse aus dem laufenden Projekt
- Prognose der PM2.5-Belastung in Sachsen bis 2015 und 2020
- Ableitung von Schlussfolgerungen für Maßnahmen zur Minderung der PM2.5-Belastung und für die Fortschreibung der Messnetzkonzeption.

2 ERMITTLUNG DER TENDENZEN FÜR DIE PM2.5-BELASTUNG IN SACHSEN IM VERGLEICH ZUM BUNDESDEUTSCHEN TREND

2.1 Bewertung von PM2.5-Konzentrationen

In der Bundesrepublik werden Beurteilungswerte für Partikel in der 39. BImSchV definiert.

Für PM2.5 werden u. a. zwei Beurteilungswerte festgelegt:

- ein Grenzwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel, der ab 2015 einzuhalten ist und
- als Zielwert einen PM2.5-Jahresmittelwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aus, der bereits heute eingehalten werden sollte.

Um die Einhaltung des Immissionsgrenzwertes für PM2.5 von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab dem Jahr 2015 einzuhalten, wird eine die Toleranzmarge von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erlassen, die sich ab dem 1. Januar 2009 jährlich um ein Siebentel (ca. $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) vermindert.

In der 39. BImSchV wird weiterhin als nationales Ziel gefordert, ab dem Jahr 2015 den Indikator für die durchschnittliche PM2.5-Exposition von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel einzuhalten. Die durchschnittliche PM2.5-Exposition für das Referenzjahr 2010 ist vom UBA festzustellen und basiert auf dem gleitenden Jahresmittelwert der Messstationen im städtischen und regionalen Hintergrund für die Jahre 2008 bis 2010. Ab dem Jahr 2020 soll als Zielwert eine reduzierte durchschnittliche PM2.5-Exposition eingehalten werden. Das Reduktionsziel beträgt in Abhängigkeit vom Ausgangswert im Referenzjahr 2010 bis zu 20%, mindestens jedoch soll das Ziel von $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht werden.

2.2 Statistische Analyse der sächsischen Daten

Der Freistaat Sachsen betreibt zur Überwachung und Beurteilung der Luftqualität ein stationäres Luftgütemessnetz mit ca. 30 Messstationen. Erfasst werden an diesen Stationen neben den Stickoxiden (NO , NO_2) zum Teil auch Feinstäube PM10 sowie PM2.5. Teilweise wird Ruß als Bestandteil der PM10-Partikel analysiert. Zusätzlich werden an allen Stationen auch meteorologische Komponenten gemessen.

Für die vom Auftraggeber bereitgestellten Messdaten (neben PM2.5 werden auch PM10, Ruß und NO_x mitbetrachtet) wurden statistische Analysen durchgeführt. Die Ergebnisse der Analyse werden in Hinblick auf weitere Parameter (Klassifikation der Messstellen, Lage der jeweiligen Station relativ zu Emittenten, Bebauung, Verkehrsmengen, Verkehrsfluss, Meteorologie etc.) diskutiert. Ziel der Analyse der Daten ist es, Informationen über den Einfluss

dieser Parameter zu erhalten und Gemeinsamkeiten bzw. Gründe bei Unterschieden untereinander sowie zu anderen Messstationen in Deutschland zu identifizieren.

2.2.1 Datenverfügbarkeit

Die **Tab. 2.1** gibt eine Übersicht über alle verfügbaren Messdaten des Luftmessnetzes Sachsens.

PM2.5-Messdaten lagen nur an wenigen Messstationen und in unterschiedlichen Messzeiträumen vor. Mehrjährige Messreihen gibt es an den Stationen

- Chemnitz-Nord (ab 2/1998)
- Schwartenberg (ab 10/1998)
- Dresden-Nord (ab 6/2001)
- Leipzig-Mitte (ab 2/1999)
- Chemnitz-Leipziger Str. (ab 1/2005) sowie
- Dresden-Bergstraße (ab 1/2005).

Für die Stationen Dresden-Herzotingarten, Dresden-Mitte, Dresden-Winckelmannstraße und Niesky liegen nur kurze Messreihen vor.

Stationsname	Standort	Höhe ü. NN	EU-EoI Gebietstyp	EU-EoI Stationstyp	EU Ozon RL	Messbeginn	gasförmige Komponenten			Ruß kont. Messverf.	Schwebstaub				Staubinhalt Ruß Laboranalyse	Meteorologie							
							NO _x	NO	O ₃		PM10 TEOM	PM2,5 TEOM	PM10 HVS	PM2,5 HVS		W-Ri [Grad]	W-Ge [m/sec]	Temp [GRADC]	Luftfeuchte [PROZ]	Druck [hPa]	Globalstrahlung [W/m ²]		
Klingenthal	Graslitzer Str. (P)	540	städtisches Gebiet	Hintergrund	U	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994		ab 08.01.2003					ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	
Plauen-Süd	Hofer Landstr. /	343	städtisches Gebiet	Verkehr	-	06.08.1998	ab 06.08.1998	ab 06.08.1998	06.08.1998-31.12.2002		ab 04.01.2002		ab 01.01.2006			ab 06.08.1998	ab 06.08.1998	ab 06.08.1998	ab 06.08.1998	ab 06.08.1998	ab 18.01.2006	ab 10.01.2006	
ZwickauW	Werdauer Str./Cr	267	städtisches Gebiet	Verkehr	-	01.02.2008	ab 01.02.2008	ab 01.02.2008			ab 01.02.2008		ab 01.02.2008			ab 01.02.2008	ab 01.02.2008	ab 01.02.2008	ab 01.02.2008	ab 01.02.2008	ab 01.02.2008	ab 01.02.2008	ab 01.02.2008
Zwickau	Dr.-Friedrichs-Rd	265	städtisches Gebiet	Verkehr	-	01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-31.12.2002		01.09.1994-26.01.2008		01.09.1994-26.01.2008		01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-26.01.2008	01.09.1994-26.01.2008
Glauchau	Güterbahnhofstr	233	städtisches Gebiet	Hintergrund	U	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994		ab 12.03.2002					ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994
Chemnitz-Mitte	Lohstraße	300	städtisches Gebiet	Hintergrund	U	01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 01.12.1990		ab 07.01.2003		ab 20.01.2001			ab 01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 11.01.2005	ab 15.06.2006	
Chemnitz-Nord	Wilhelm-Külz-P	296	städtisches Gebiet	Verkehr	-	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	01.09.1994-31.12.2002		ab 10.08.2000		ab 12.02.1998	ab 12.02.1998	ab 01.01.1998	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994
Chemnitz-Leipziger Str.	Leipziger Str. 10	327	städtisches Gebiet	Verkehr	-	01.01.2005	ab 01.01.2005	ab 01.01.2005			ab 01.01.2005		ab 01.01.2005	ab 01.01.2005	ab 01.01.2005		ab 09.02.2005	ab 09.02.2005	ab 09.02.2005	ab 26.03.2008	ab 09.02.2005		
Freiberg	Helmertpl.	393	städtisches Gebiet	Hintergrund	U	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994		ab 03.01.2002		ab 02.02.1998		ab 01.01.1998	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994
Carlsfeld	Weitersglashütte	896	ländlich abgelegen	Hintergrund	RB	01.07.1990			ab 01.07.1990		ab 01.01.2003					ab 01.07.1990	ab 01.07.1990	ab 01.07.1990	ab 01.07.1990	ab 01.07.1990	ab 01.07.1990	ab 01.07.1990	ab 11.06.2002
Schwartenberg	Neuhausen, Am S	787	ländlich abgelegen	Hintergrund	RB	06.02.1998	ab 06.02.1998	ab 06.02.1998	ab 06.02.1998		ab 01.01.2003		ab 01.10.1998	ab 01.10.1998		ab 06.02.1998	ab 06.02.1998	ab 06.02.1998	ab 06.02.1998	ab 06.02.1998	ab 06.02.1998	ab 06.02.1998	ab 06.02.1998
Dresden-HerzoginGarten	An der Herzogin Garten	112	städtisches Gebiet	Hintergrund	U	01.01.2006-15.06.2008	01.01.2006-15.06.2008	01.01.2006-15.06.2008	01.01.2006-15.06.2008		01.01.2006-15.06.2008		01.08.2006-31.08.2007	ab 01.01.2008	01.08.2006-31.08.2007	01.01.2006-15.06.2008	01.01.2006-15.06.2008	01.01.2006-15.06.2008	01.01.2006-15.06.2008	01.01.2006-15.06.2008	01.01.2006-15.06.2008	01.01.2006-15.06.2008	01.01.2006-15.06.2008
Dresden-Mitte	Postplatz	112	städtisches Gebiet	Hintergrund	-	01.07.1990-19.12.2005	01.07.1990-19.12.2005	01.07.1990-19.12.2005	01.07.1990-19.12.2005		07.01.2003-19.12.2005		27.01.1998-31.12.2002	29.01.1999-08.12.2000		01.07.1990-19.12.2005	01.07.1990-19.12.2005	01.07.1990-19.12.2005					01.07.1990-19.12.2005
Dresden-Nord	Schlesischer Plat	112	städtisches Gebiet	Verkehr	U	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 22.05.2001	ab 20.07.2000		ab 03.02.1998	ab 02.06.2001	ab 02.01.1998	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994
Dresden-Bergstr.	Bergstr. 78-80	150	städtisches Gebiet	Verkehr	-	01.01.2005	ab 01.01.2005	ab 01.01.2005			ab 01.01.2005		ab 01.01.2005	ab 01.01.2005	ab 01.01.2005		ab 01.01.2005	ab 01.01.2005	ab 01.01.2005	ab 21.03.2008	ab 01.01.2005		
Dresden-Winckelmannstraße	Winckelmannstr	116	städtisches Gebiet	Hintergrund	-	20.06.2008	ab 20.06.2008	ab 20.06.2008	ab 20.06.2008		ab 20.06.2008	ab 08.2008		ab 20.06.2008		ab 20.06.2008	ab 20.06.2008	ab 20.06.2008	ab 20.06.2008	ab 20.06.2008	ab 20.06.2008	ab 20.06.2008	ab 20.06.2008
Zittau-Ost	Brückenstr. 12	230	vorstädtisches Gebiet	Hintergrund	S	01.07.1990	ab 01.07.1990	ab 01.07.1990	ab 01.07.1990		ab 01.01.2003		ab 01.01.2004			ab 01.07.1990	ab 01.07.1990	ab 01.07.1990	ab 19.10.2006	ab 07.01.2005	ab 01.07.1990		
Görlitz	Zeppelinstr. 10	210	städtisches Gebiet	Verkehr	-	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	01.09.1994-31.12.2002		ab 04.01.2002		ab 03.02.1998		ab 02.01.1998	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994
Niesky	Sproitz, An der A	148	ländlich regional	Hintergrund	R	05.05.2003			ab 05.05.2003		ab 24.01.2006		01.08.2006-31.08.2007	01.08.2006-31.08.2007	01.08.2006-31.08.2007	ab 05.05.2003	ab 05.05.2003	ab 05.05.2003	ab 05.05.2003	ab 05.05.2003	ab 05.05.2003	ab 05.05.2003	ab 05.05.2003
Radebeul-Wahnsdorf	Altwahnsdorf 12	246	ländlich stadtnah	Hintergrund	R	01.01.1967	ab 01.08.1990	ab 01.08.1990	ab 01.05.1973		ab 01.01.2003		ab 04.01.1999		01.07.1987-31.12.1991	ab 01.12.1967	ab 01.12.1967	ab 01.12.1967	ab 01.12.1967	ab 01.12.1967	ab 01.12.1967	ab 01.12.1967	ab 01.12.1967
Hoyerswerda	Dietrich-Bonhoe	117	städtisches Gebiet	Hintergrund	U	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994		ab 01.01.2003					ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994
Bautzen	Stieberstr. / Goet	203	städtisches Gebiet	Hintergrund	U	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994		ab 01.01.2003					ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994
Zinnwald	Hochmoosweg 7	877	ländlich regional	Hintergrund	R	01.05.1978	ab 01.02.1992	ab 01.02.1992	ab 01.09.1994				04.01.1999-31.12.2002			ab 01.05.1978	ab 01.05.1978	ab 01.05.1978	ab 01.05.1978	ab 01.05.1978	ab 01.05.1978	ab 01.05.1978	ab 01.05.1978
Leipzig-Mitte	Willy-Brandt-Pl	110	städtisches Gebiet	Verkehr	-	01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 01.12.1990	01.12.1990-31.12.2002		ab 01.01.2001		ab 15.01.1998	ab 29.01.1999	ab 16.01.1998	ab 01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 01.12.1990	ab 06.01.2005	ab 17.11.2006	
Leipzig-West	N.-Rumjanzew-S	115	städtisches Gebiet	Hintergrund	U	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994		ab 01.01.2003		05.01.1999-31.12.2002			ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994
Leipzig-Lützner Str.	Lützner Str. 34/3	110	städtisches Gebiet	Verkehr	-	01.01.2001	ab 01.01.2003	ab 01.01.2003			ab 01.01.2001		ab 01.01.2002		ab 01.01.2001		ab 01.01.2001	ab 01.01.2001	ab 01.01.2001	ab 28.03.2008	ab 06.01.2005		
Borna	Sachsenallee 45	145	städtisches Gebiet	Verkehr	-	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	01.09.1994-31.12.2002		ab 06.02.2002		ab 02.02.1998		ab 02.02.1998	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994
Delitzsch	Nordstr. / Karl-M	100	städtisches Gebiet	Hintergrund	U	01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994		ab 01.01.2003					ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994	ab 01.09.1994
Collnberg	Collm, Gipfelpla	313	ländlich abgelegen	Hintergrund	RB	01.10.1998	ab 01.10.1998	ab 01.10.1998	ab 01.10.1998		ab 01.01.2003		ab 01.10.1998			ab 01.10.1998	ab 01.10.1998	ab 01.10.1998	ab 01.10.1998	ab 01.10.1998	ab 01.10.1998	ab 01.10.1998	ab 01.10.1998

Tab. 2.1: Luftmessnetz Sachsen Stationsübersicht (Stand: 07/2009). U = urban, S = suburban, R = rural, RB = rural background. Grün = Messung noch aktiv. Rot = Messung abgeschaltet.

Für die folgende statistische Analyse ist es notwendig, nach regionaler Hintergrundstation, städtischer Hintergrundstation sowie Verkehrsstation zu unterscheiden. Wegen der vorliegenden Datenlage werden die in den **Tab. 2.2** bis **Tab. 2.4** genannten Stationen in den genannten Auswertezwischenräumen in der Auswertung zusammen betrachtet.

Stadt	Station	Stationseinstufung	Auswertezwischenraum
Dresden	Dresden-Bergstr.	Verkehrsstation	01.01.2005 bis 31.12.2009
	Dresden-Nord	Verkehrsstation	01.01.2001 bis 31.12.2009
	Dresden-Herzotingarten	Städtischer Hintergrund	01.09.2006 bis 16.06.2008
	Dresden-Winckelmannstr.	Städtischer Hintergrund	20.06.2008 bis 31.12.2009
	Schwartenberg	Ländlicher Hintergrund	01.01.2005 bis 31.12.2009
	Nisky	Ländlicher Hintergrund	01.09.2006 bis 31.08.2007

Tab. 2.2: Stationseinstufung sowie verfügbare Messwerte für die Analyse für Dresden

Stadt	Station	Stationseinstufung	Auswertezeitraum
Leipzig	Leipzig-Mitte	Verkehrsstation	01.01.2000 bis 31.12.2009
	Leipzig-West	Städtischer Hintergrund	01.01.2000 bis 31.12.2009
	Schwartenberg	Ländlicher Hintergrund	01.01.2000 bis 31.12.2009

Tab. 2.3: Stationseinstufung sowie verfügbare Messwerte für die Analyse für Leipzig

Stadt	Station	Stationseinstufung	Auswertezeitraum
Chemnitz	Chemnitz-Nord	Verkehrsstation	01.01.2000 bis 31.12.2009
	Chemnitz-Leipziger Str.	Verkehrsstation	01.01.2005 bis 31.12.2009
	Chemnitz-Mitte	Städtischer Hintergrund	01.01.2005 bis 31.12.2009
	Schwartenberg	Ländlicher Hintergrund	01.01.2000 bis 31.12.2009

Tab. 2.4: Stationseinstufung sowie verfügbare Messwerte für die Analyse für Chemnitz

2.2.2 Trends der PM_{2.5}-Jahresmittelwerte

Die **Abb. 2.1** und **Abb. 2.2** zeigen die Trends der PM_{2.5}-, PM₁₀- und Ruß-Jahresmittelwerte der Stationen in Dresden, Chemnitz und Leipzig im Vergleich zur ländlichen Hintergrundmessstelle Schwartenberg auf.

Hierbei ist Folgendes festzustellen:

- Der ab 2015 einzuhaltende Grenzwert von 25 µg/m³ wurde an den Messstationen in Sachsen, für die PM_{2.5}-Messdaten vorliegen, nicht überschritten. Die höchsten PM_{2.5}-Jahresmittelwerte traten hier 2003, 2005 und 2006 mit Werten von 23 µg/m³ bzw. 24 µg/m³ an den Verkehrsstationen Dresden-Nord, Dresden-Bergstraße, Leipzig-Mitte und Chemnitz-Leipziger Straße auf.

- In den Jahren 2007 und 2008 lagen die PM_{2.5}-Jahresmittelwerte an allen Stationen unter dem Zielwert von 20 µg/m³.
- Die PM_{2.5}-Jahresmittelwerte an den städtischen Hintergrundmessstellen in Dresden sowie an der Station Niesky lagen bei ca. 15 µg/m³. An der regionalen Hintergrundstation Schwartenberg wurden zwischen 2000 und 2008 ca. 9 bis 12 µg/m³ gemessen, wobei die JM-Werte der Jahre 2007 und 2008 etwa das Niveau der Jahre 2000 und 2001 aufweisen. An den Verkehrsstationen wurden 17 bis 24 µg/m³ gemessen.
- Die Ruß-Jahresmittelwerte liegen bei ca. 3 µg/m³ bis 6 µg/m³ an den Verkehrsstationen sowie bei ca. 1 µg/m³ bis 3 µg/m³ an den Hintergrundmessstellen. Die PM_{2.5}-Jahresmittelwerte sind also ca. 4 bis 5 mal höher als die Ruß-Jahresmittelwerte.
- Die PM₁₀-Jahresmittelwerte liegen bei ca. 23 µg/m³ bis 39 µg/m³ an den Verkehrsstationen, bei ca. 22 µg/m³ bis 27 µg/m³ an den städtischen Hintergrundmessstellen sowie bei ca. 14 µg/m³ bis 19 µg/m³ im regionalen Hintergrund.

Leider wird in Sachsen (wie auch in anderen Bundesländern) bisher erst an wenigen Stationen PM_{2.5} gemessen. Eine wesentlich bessere räumliche Repräsentanz wäre möglich, wenn das deutlich dichtere Messnetz für die PM₁₀-Fraktionen oder für die NO_x-Konzentrationen herangezogen werden könnte. Deshalb werden in der **Abb. 2.3** die Korrelationen zwischen PM_{2.5} und PM₁₀ bzw. NO_x grafisch dargestellt.

Aus den durchgeführten Auswertungen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Jahresmittelwerte der PM_{2.5}-Konzentrationen korrelieren mit einem R² von ca. 0.73 gut mit den PM₁₀-Jahresmittelwerten.
- Das mittlere Verhältnis zwischen PM_{2.5} und PM₁₀ liegt bei ca. 0.6 an den Verkehrsstationen und ca. 0.5 an den (wenigen Messpunkten der) Hintergrundstationen.
- Aus der Korrelation für die Verkehrsstationen lässt sich ableiten, dass bei PM₁₀-Jahresmittelwerten von ca. 40 µg/m³ mit ca. 50%iger Wahrscheinlichkeit der ab 2015 einzuhaltende PM_{2.5}-Grenzwert von 25 µg/m³ überschritten wird. Eine PM_{2.5}-Richtgrenzwertüberschreitung wird bei PM₁₀-Jahresmittelwerten über 32 µg/m³ wahrscheinlich.

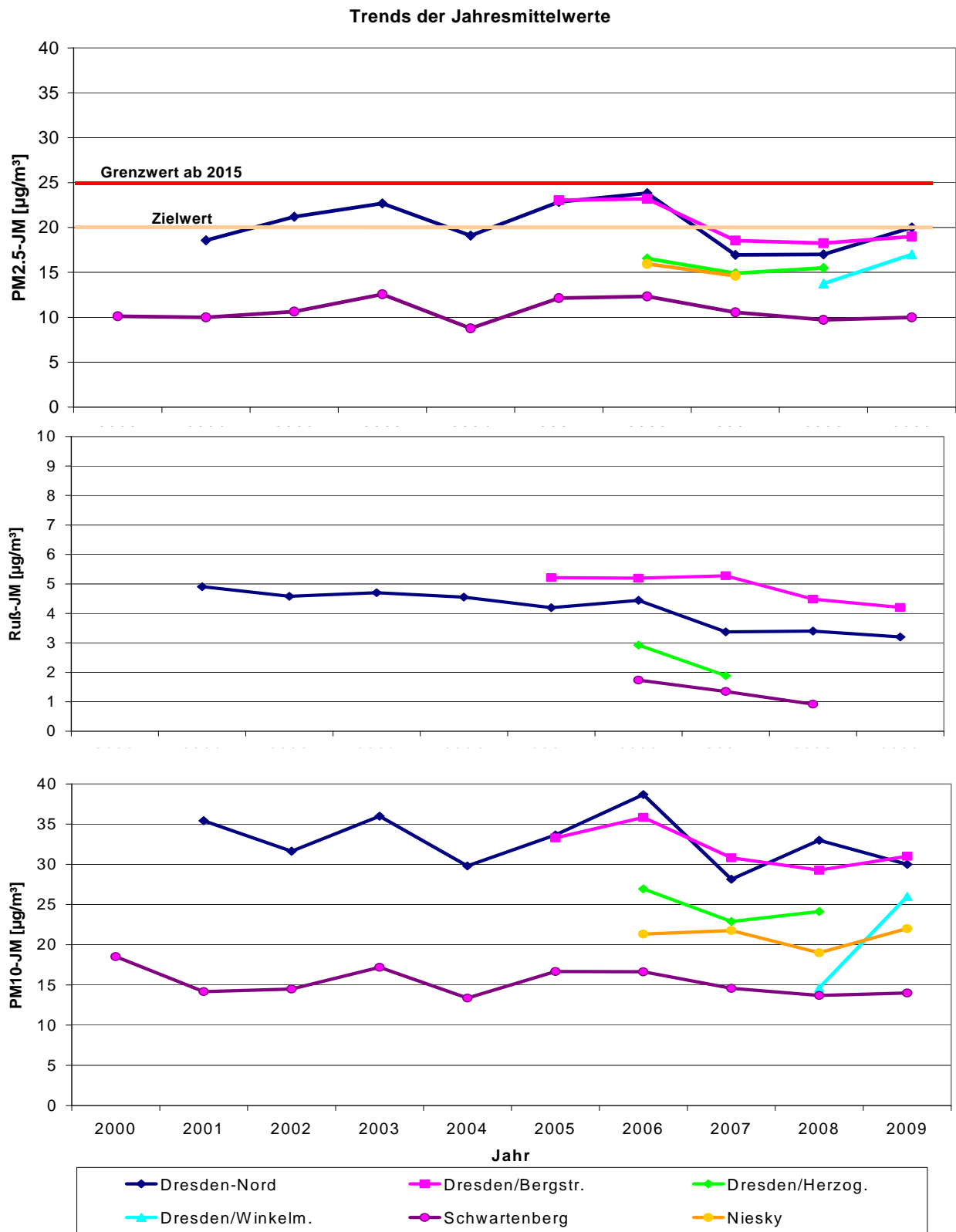


Abb. 2.1: Trends der PM2.5-, Ruß- und PM10-Jahresmittelwerte an Stationen in Dresden und Umgebung

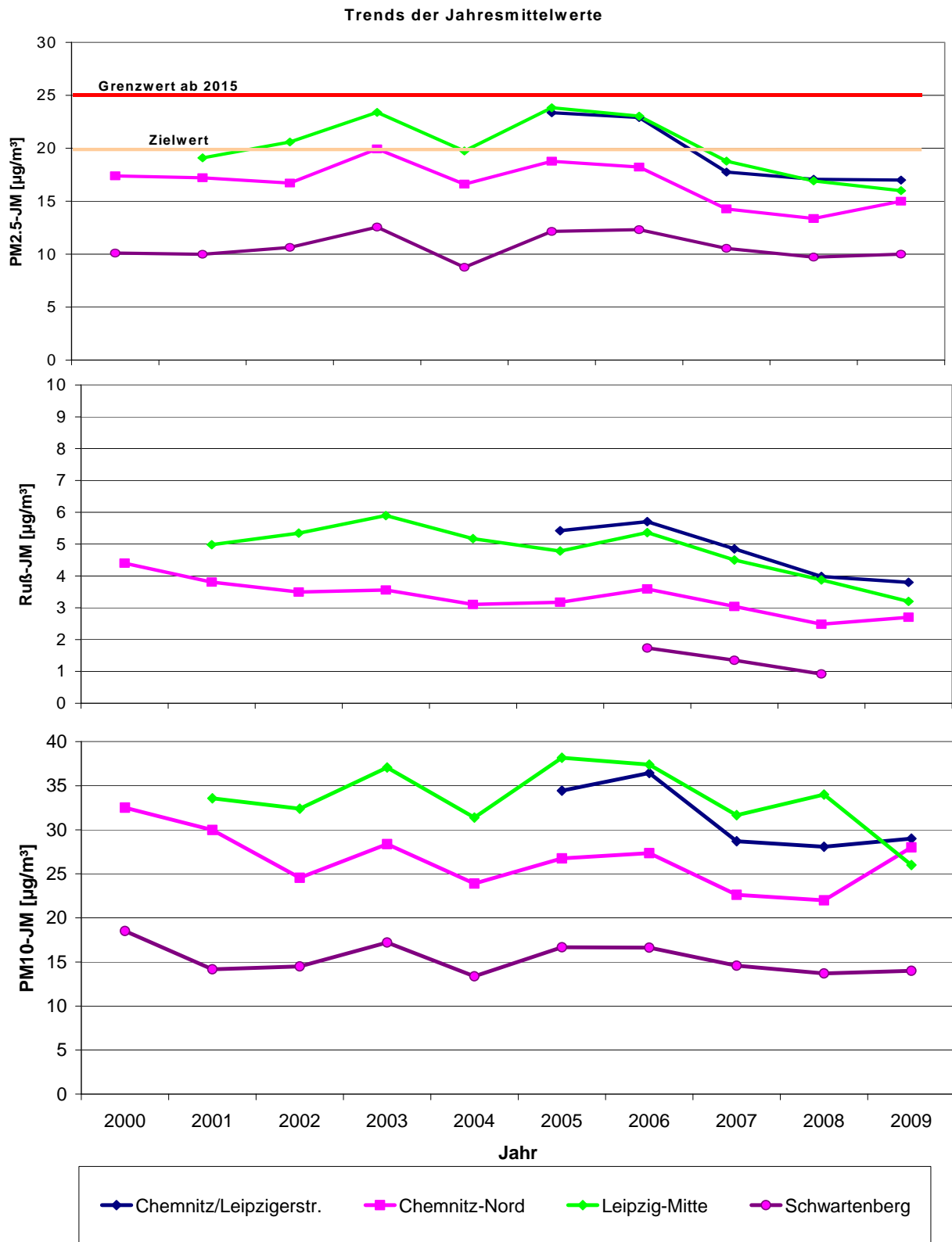


Abb. 2.2: Trends der PM2.5-, Ruß- und PM10-Jahresmittelwerte an Stationen in Chemnitz und Leipzig sowie Schwartenberg

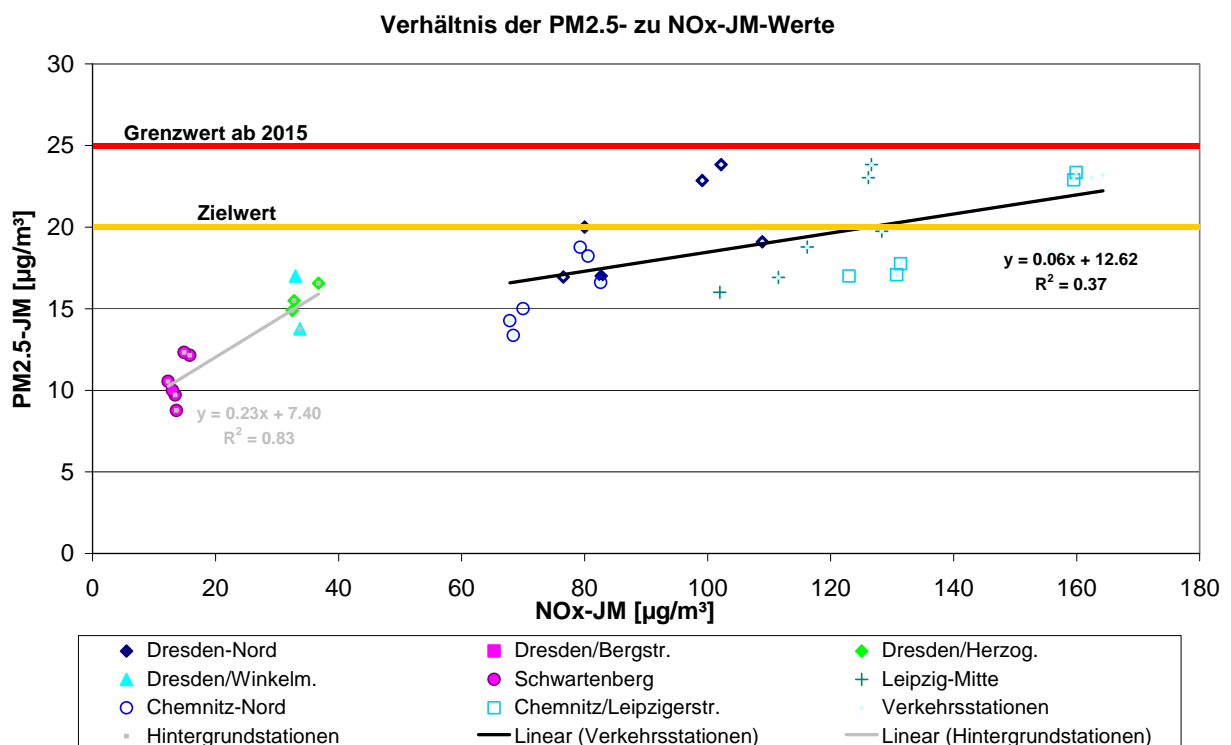
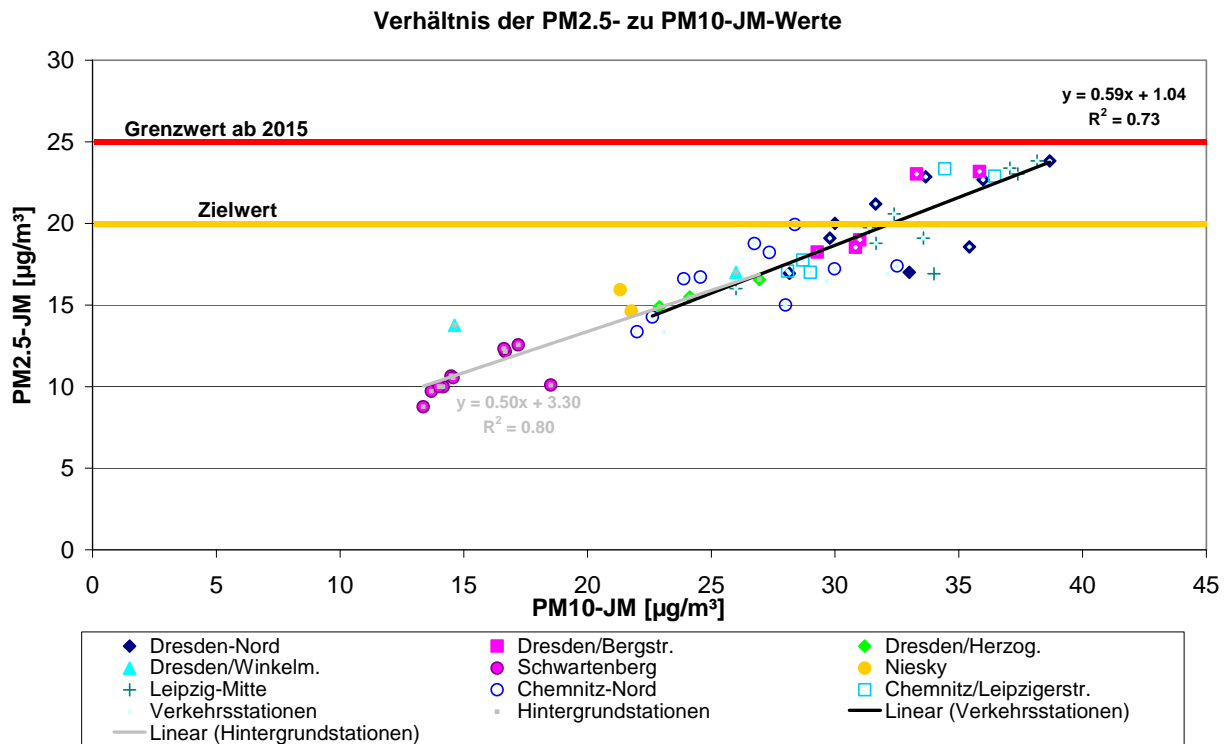


Abb. 2.3: Lineare Korrelationen zwischen den verfügbaren PM2.5- und PM10-JM (oben) bzw. NO_x-JM (unten) für die sächsischen Stationen

- Die Korrelationen zwischen PM_{2.5} und NO_x sind für die Verkehrsstationen deutlich schlechter als beim PM₁₀, für die Hintergrundmessstellen ähnlich gut. Dies gilt analog auch für die Korrelation zu Ruß (hier nicht dargestellt).

Wendet man die Korrelationsgleichung für die Verkehrsstationen auf alle PM₁₀-Jahresmittelwerte¹ für die Jahre 2006 und 2008 an, ergeben sich die PM_{2.5}-Jahresmittelwerte der **Abb. 2.4** Zum Vergleich sind zusätzlich noch die PM_{2.5}-Messwerte, wo vorhanden, eingetragen. Es zeigt sich, dass auch mit dieser Abschätzung an keiner Station der Grenzwert von 25 µg/m³ überschritten wird. In meteorologisch ungünstigen Jahren, wie z. B. 2006, wird er an den Verkehrsstationen mit dichter Randbebauung jedoch fast erreicht.

Mit dieser Methodik lassen sich die unterschiedlichen PM_{2.5}-Belastungsniveaus abschätzen. Dies ist in **Tab. 2.5** aufgezeigt.

Station	Regionaler Hintergrund µg/m ³	Städtische Zusatzbelastung µg/m ³	Lokale Zusatzbelastung µg/m ³	PM _{2.5} -Jahresmittelwert µg/m ³
Dresden-Bergstr.	12	5	6	23 (2006)
	10	4	4	18 (2008)
Dresden-Nord	12	5	7	24 (2006)
	10	4	3	17 (2008)
Leipzig-Mitte	12	4	8	24 (2006)
	10	3	4	17 (2008)
Leipzig-Lützner Straße	12	4	8	24 (2006)
	10	3	7	20 (2008)
Chemnitz-Leipziger Str.	12	4	7	23 (2006)
	10	3	4	17 (2008)
Chemnitz-Nord	12	4	2	18 (2006)
	10	3	<1	13 (2008)

Tab. 2.5: Abgeschätzte Zusammensetzung der PM_{2.5}-Belastung an sächsischen Verkehrsmessstationen für die Jahre 2006 und 2008

¹ Hinweis: Als PM₁₀-Jahresmittelwerte wurde hier auf die in <http://www.env-it.de/luftdaten/documents.fwd?comp=PM1#PM10> des UBA veröffentlichten Werte zurückgegriffen.

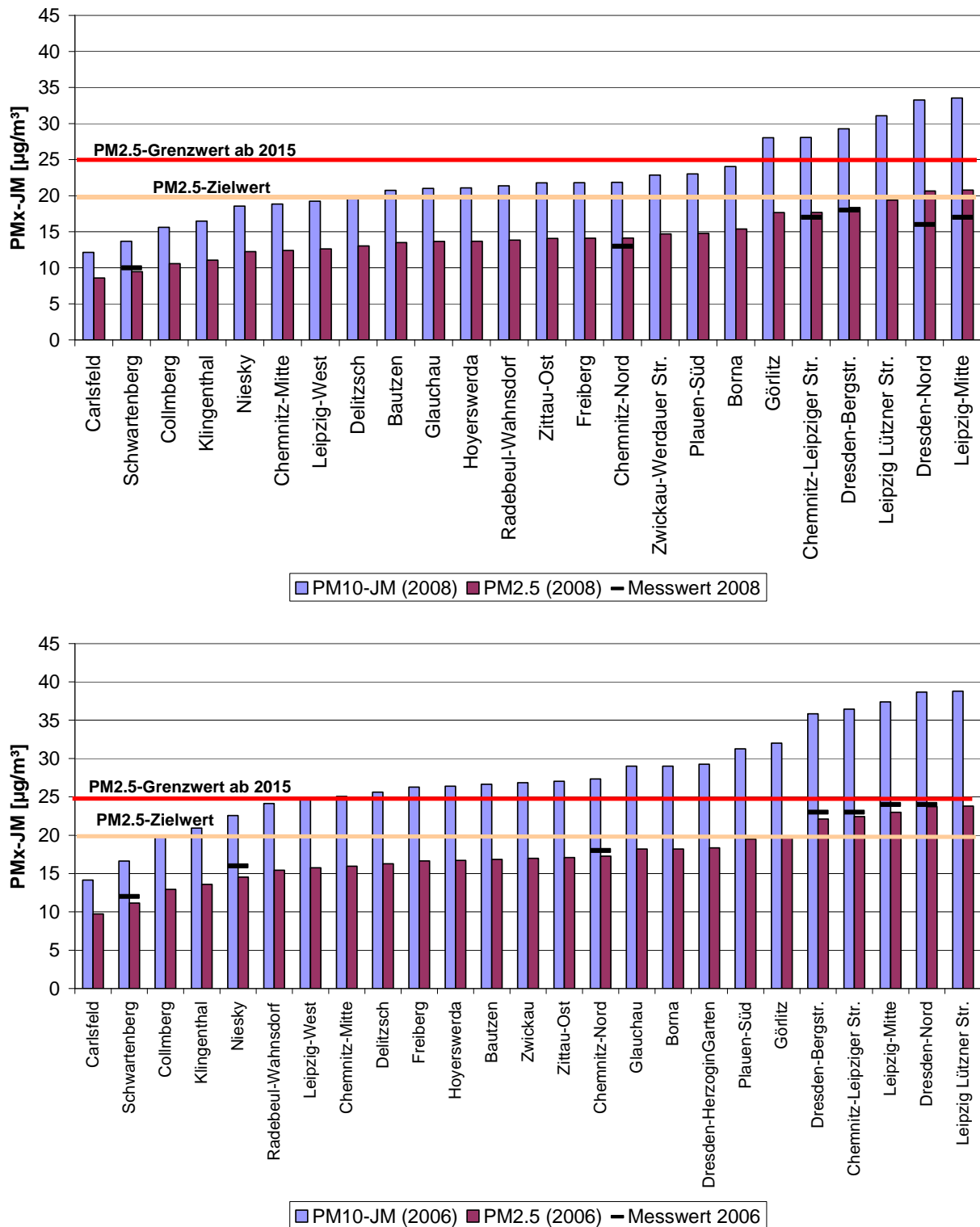


Abb. 2.4: Aus den PM10-Jahresmittelwerten abgeschätzte PM2.5-Jahresmittelwerte für 2006 und 2008 an sächsischen Messstationen.

Demnach liegt der Anteil regionaler PM2.5-Hintergrundbelastung an der Gesamtbelastung der Verkehrsstationen bei ca. 50 % bis 75 %. Der Anteil städtischer Zusatzbelastung liegt bei etwa 20 %. Der Anteil lokaler PM2.5-Zusatzbelastungen liegen zwischen ca. 5 % bis 10 % (Chemnitz-Nord) und 25 % bis 33 % (Leipzig-Mitte).

2.3 Vergleich mit bundesdeutschen Daten

Die **Abb. 2.5** vergleicht die an sächsischen Messstationen (orange hervorgehoben) erhobenen PM2.5-Jahresmittelwerte mit vorliegenden bundesweiten Messdaten des Jahres 2008 und des meteorologisch ungünstigeren Jahres 2006.

Eine umfangreichere Zusammenstellung und Bewertung findet sich in Bruckmann et al. (2009). Es kann Folgendes festgestellt werden:

- Insgesamt ist das PM2.5-Messnetz deutlich lückenhafter als es beispielsweise für PM10 der Fall ist.
- Nur an wenigen Stationen wurde der ab 2015 einzuhaltende Grenzwert von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ überschritten. Dies betrifft im Jahr 2008 z. B. die Stationen Stuttgart-Neckartor, Stuttgart-Mitte und Mannheim-Straße. Im (ungünstigeren) Jahr 2006 betrifft dies z. B. weiterhin auch die Stationen Mannheim-Straße, Freiburg-Straße und Stuttgart-Bad Cannstadt sowie entsprechend Bruckmann et al. (2009) Cottbus-Bahnhofstraße sowie Frankfurt/Oder-Leipziger Straße (diese Daten lagen uns nicht vor).
- Die PM2.5-JM-Werte an den sächsischen Stationen liegen etwa im Mittelfeld der bundesdeutschen Konzentrationsniveaus in der jeweiligen Gebietskategorie.

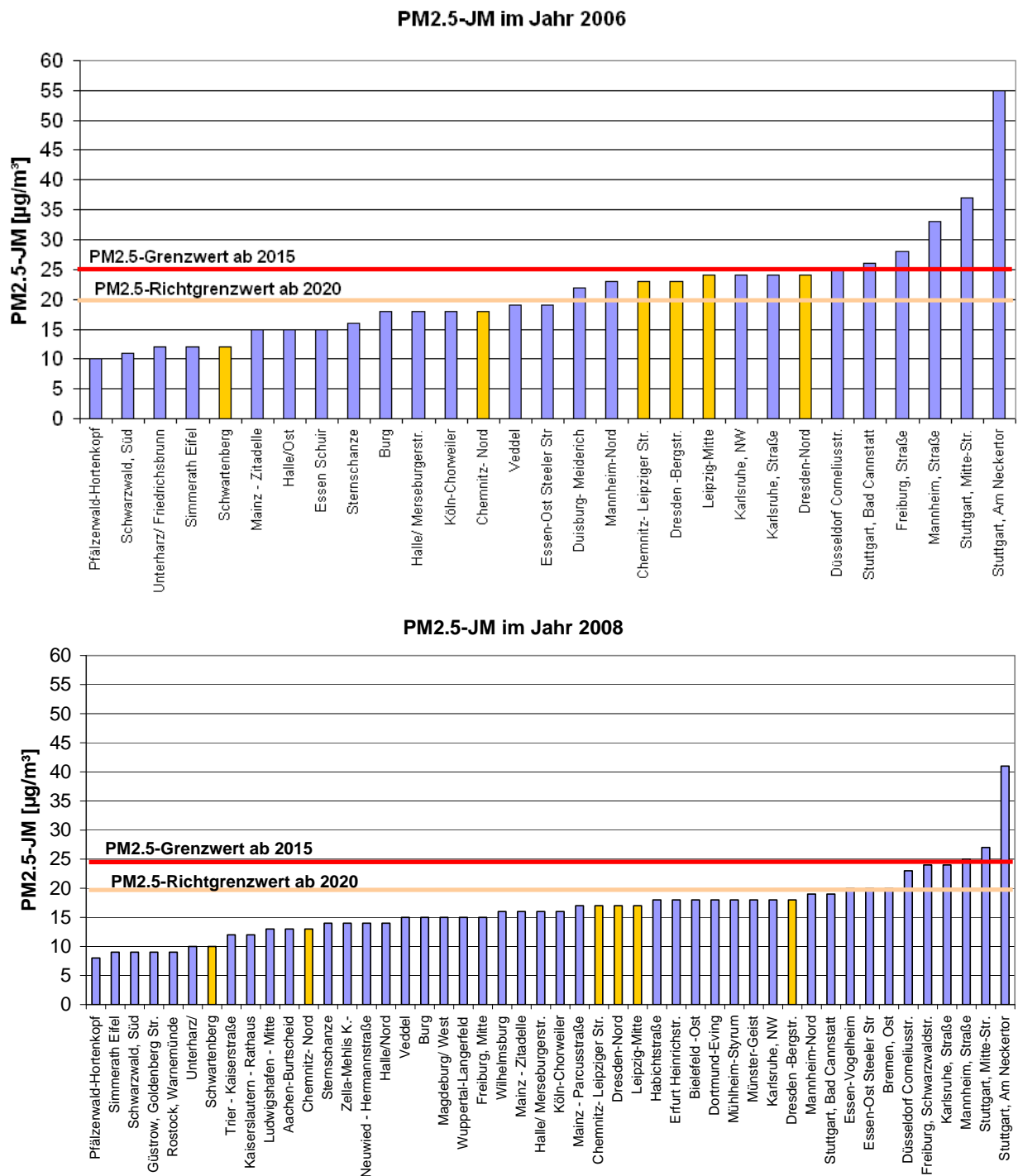


Abb. 2.5: PM2.5-Jahresmittelwerte an bundesdeutschen Messstationen (Auswahl) in den Jahren 2006 und 2008

Auch Bruckmann et al. (2009) korrelierten PM2.5 mit PM10-Jahresmittelwerten (82 deutsche Stationen aus 2006 und 2007), um Abschätzungen der PM2.5-JM an allen Messpunkten des PM10-Messnetzes durchführen zu können. Sie kamen dabei zu folgenden Schlüssen:

- Die Jahresmittel der Feinstaubfraktionen PM10 und PM2.5 korrelieren mit R^2 zwischen 0.81 und 0.92 eng miteinander.
- Das mittlere Verhältnis zwischen PM2.5 und PM10 liegt über alle Stationen zwischen 0.64 (2007) und 0.66 (2006). Nur für die Verkehrsstationen ergab sich für die Jahre 2006/2007 ein Wert von 0.60. Dieser liegt etwas höher als aus den sächsischen Messdaten (0.57 siehe oben) abgeleitet. Nur für die Hintergrundstationen ergab sich ein Wert von 0.66. Dieser liegt höher, als aus den sächsischen Messdaten (0.48 siehe oben) abgeleitet. Allerdings beinhaltet die Auswertung der sächsischen Hintergrundstation im Wesentlichen nur die Station Schwartenberg und ist somit nicht sehr repräsentativ.

Werte der PM2.5 zu PM10-Verhältnisse zwischen 0.5 und 0.8 (im Mittel 0.62) für die Jahre 2004 bis 2006 erhielten De Leeuw et al. (2009) bei der Auswertung europäischer Messdaten.

Auch Bruckmann et al. (2009) kamen zu dem Schluss, dass ab einem PM10-Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ der ab 2015 einzuhaltende PM2.5-Grenzwert mit 50%iger Wahrscheinlichkeit überschritten sein wird. Unterhalb eines PM10-Jahresmittels von $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegt die Wahrscheinlichkeit einer Grenz- bzw. Zielwertüberschreitung für PM2.5 bei 5 % an verkehrsnahen Stationen.

Hinweis: Diese beiden PM10-Schwellwerte liegen noch deutlich über dem PM10-Äquivalentwert zur Bewertung des PM10-Tagesgrenzwertes. Hier wird davon ausgegangen, dass bei einem PM10-Jahresmittelwert von ca. $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit 50%iger Wahrscheinlichkeit der PM10-Tagesgrenzwert überschritten ist. Dieser PM10-Tagesgrenzwert ist somit deutlich schärfer als der Grenzwert für das PM2.5-Jahresmittel von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Anders verhält es sich mit dem PM2.5-Richtgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dieser kann in Sachsen bei einem PM10-Jahresmittel von ca. $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht werden. Hier wären der PM10-Tagesgrenzwert und der PM2.5-Richtgrenzwert etwa äquivalent.

Ein PM10-Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde in den letzten Jahren an sächsischen Messstationen nicht überschritten. Der PM10-Schwellenwert von $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde an sächsischen Stationen im Jahr 2008 nicht und im Jahr 2006 an den Stationen Leipzig-Mitte, Dresden-Nord und Leipzig-Lützner Straße überschritten, wobei hier der PM10-Kurzzeitgrenzwert nicht

eingehalten wurde. Ein PM10-Jahresmittelwert von $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde im Jahr 2006 an verkehrsnahen Stationen in Plauen, Görlitz, Dresden, Chemnitz und Leipzig erreicht bzw. überschritten, im Jahr 2008 an den Stationen Dresden-Nord und Leipzig-Mitte.

2.4 Quantifizierung des meteorologischen Einflusses

In Arbeit

2.5 Prüfung eines möglichen Bedarfs für die Weiterentwicklung des sächsischen Luftmessnetzes.

2.5.1 Rahmenbedingungen der 39. BImSchV

Der Gesetzgeber legt in der 39. BImSchV die Anzahl und Lage von Probenahmestellen fest. Die Kriterien für die Mindestanzahl der Probenahmestellen ist in Anlage 5 der 39. BImSchV festgelegt. Für die diffusen Quellen wird klassifiziert zwischen Gebieten- bzw. Ballungsräumen, in denen die Belastungen oberhalb der oberen Beurteilungsschwelle ($17 \mu\text{g}/\text{m}^3$) bzw. zwischen oberer und unterer ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$) Beurteilungsschwelle liegen sowie nach Bevölkerungszahl in diesen Gebieten/Ballungsräumen.

Anhand der vorliegenden Messungen bzw. aus den aus PM10-Messdaten für 2008 abgeleiteten PM2.5-Jahresmittelwerten lassen sich die Gebiete identifizieren, in denen o. g. Bedingungen erfüllt sind (siehe hierzu im Vorgriff auch das Kapitel 6). (Hinweis: Das Belastungsniveau 2009 lag etwas höher als 2008. Die nachfolgenden Aussagen treffen auch für 2009 zu.)

Die Details für die Lage der Messstellen sind in der Anlage 3 der 39. BImSchV festgelegt.

2.5.2 Redundante sowie für die flächenhafte Aussage in IMMIKART wichtige Messstandorte

Im Rahmen des vorliegenden Projektes soll das Luftmessnetz auf Redundante sowie für die flächenhafte Aussage in IMMIKART wichtige Messstandorte untersucht werden.

Diese Untersuchungen werden mit IMMIKART durchgeführt, wenn die PM2.5-Emissionsdaten aus dem Fachinformationssystem (FIS) zur Verfügung stehen.

3 WISSENSCHAFTLICHER STAND DER PM2.5-EMISSIONSBESTIMMUNG

Zum wissenschaftlichen Stand der PM2.5-Emissionsbestimmung erfolgte eine umfangreiche Literaturrecherche und Auswertung. Die Ergebnisse werden im Folgenden quellgruppenspezifisch zusammengefasst.

3.1 Verursacher/Quellen

Grundsätzlich kann zwischen primären und sekundären Partikeln unterschieden werden. Erstere werden als primäre Emissionen direkt in die Atmosphäre abgegeben, letztere entstehen durch luftchemische Prozesse aus gasförmig emittierten Vorläufersubstanzen. Die bedeutendsten Vorläufersubstanzen sind einerseits Ammoniak, Schwefeldioxid und Stickstoffoxide, die anorganisches Ammoniumnitrat bzw. Ammoniumsulfat bilden, andererseits flüchtige bzw. halbflüchtige organische Verbindungen (VOC bzw. SVOC) (Schneider, J.; Lorbeer, G., 2002).

Primäre Partikel können durch mechanische oder thermische Prozesse entstehen. Zahlreiche anthropogene Prozesse verursachen Emissionen, die anteilig durch beide Mechanismen gebildet werden (Pregger, 2006).

Bei den thermischen Prozessen haben neben den meist industriellen Verfahren, wie Schmelzen, Rösten, Sintern, Brennen oder Trocknen, die Verbrennungsprozesse zur Wärme- und Energieerzeugung (Feuerungsanlagen und Prozessfeuerungen) die größte Bedeutung. Die Partikelemissionen aus Verbrennungsprozessen beinhalten hohe Anteile an Fein- und Ultrafeinstäuben. Zahlreiche Einflussfaktoren bedingen die Feinstaubbildung bei Verbrennungsprozessen, wie Brennstoffart und -eigenschaften (z. B. Schwefel- und Aschegehalt), die Verfahrensart, der Typ und Betriebszustand der Anlage, Betriebsbedingungen wie Temperatur, Druck und Luftzahl sowie die Abgasreinigung.

Anthropogene Emissionen aus mechanischen Prozessen entstehen beispielsweise durch den Umschlag von staubenden Gütern und vielfältige Prozesse der Verarbeitung und Bearbeitung von festen Materialien wie Holz, Metall und mineralischen Baustoffen. Wesentliche Einflussfaktoren der Staubbildung sind die Art und Weise der Krafteinwirkung und die Staubneigung der beteiligten Materialien.

Je nach Saison kann der Anteil der verschiedenen Quellengruppen an den Gesamtemissionen unterschiedlich sein. Auch repräsentieren diese Emissionsanteile nicht unbedingt den

jeweiligen Anteil an der Exposition (Immission) der Bevölkerung. So erfolgen z. B. die straßenverkehrlichen Emissionen näher an einem größeren Teil der Bevölkerung, als z. B. die Emissionen von Land- und Forstmaschinen. Die folgende **Tab. 3.1** zeigt eine Übersicht über die wesentlichsten PM2.5-Emissionsquellen, die nachfolgend näher betrachtet werden.

Verkehr – mobile Quellen	
Straßenverkehr	Abgasemissionen aus Diesel- und Ottomotoren (Warmbetrieb und Kaltstart), Reifen- und Bremsenabrieb, Aufwirbelung von Straßenstaub
Sonstiger Verkehr	Triebwerks- und Abriebemissionen des Flugverkehrs (LTO-Zyklen, Militär), Abgasemissionen der Dieseltraktion des Schienenverkehrs, Abriebemissionen des gesamten Schienenverkehrs, Abgase der Schiffsmotoren im Binnen- und Seeverkehr
Sonstige Fahrzeuge und mobile Geräte (Offroad-Fahrzeuge)	Abgasemissionen aus Diesel- und Ottomotoren, Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung in der Land-, Forst- und Bauwirtschaft, der Industrie, beim Militär, Emissionen aus dem Bereich Haushalte/Gartenpflege
Stationäre Feuerungsprozesse	
Öffentliche Kraft- und Heizwerke	Feuerungen mit unterschiedlichen gasförmigen, flüssigen und festen Brennstoffen, einschl. Müllverbrennung
Industrielle Kraft- und Heizwerke, übriger Umwandlungsbereich	Industrielle Feuerungen mit unterschiedlichen gasförmigen, flüssigen und festen Brennstoffen, einschl. Müllverbrennung und Feuerungsanlagen des übrigen Umwandlungsbereiches, ohne Prozessfeuerungen
Kleinfeuerungen	Feuerungen der Haushalte und Kleinverbraucher (einschl. Militär): Einzelöfen, Etagen-, Zentralheizungen
Produktionsprozesse (einschl. Prozessfeuerungen) und sonstige anthropogene Quellen	
Mineralstoffindustrie	Ziegel, Zement, Kalk, Gips, Frischbeton, Keramik, Glas, Glas-/Mineralfasern, Asphaltmischgut, Bauschutttaufbereitung, Aufbereitung von Sand und Kies, Schotterwerke u. a.
Metallindustrie	Sinter, Roheisen, Stahl, Aluminium, NE-Metalle, EST-Guss, NE-Metallguss, Ferrolegierungen, Verzinkereien u. a.
Chemieindustrie	Anorganische Grundstoffe, Chemiefasern, Kunststoffe, Farben und Lacke, Karbide, Säuren, Gummi, Dünger, Bitumendachbahnen, Erdöl-Raffinerien u. a.
Nahrungsmittelindustrie	Räuchereien, Mahlen von Getreide, Rösten von Kaffee und Malz, Herstellung von Bier, Zucker und Pflanzenölen, Trocknen von Getreide und Grünfütter
Holz- und Papierindustrie	Spanplatten, Sperrholz, Furnierholz, sonst. Holzbe- und -verarbeitung (Schreinereien), Zellstoff, Papier
Kohleindustrie	Kokereien, Trocknen, Brikettieren, Aufbereiten von Kohlen
Sonstige Industrie	Druckereien, Lackierereien, Abfallaufbereitung, Salzgewinnung, Motorenprüfstände
Umschlagprozesse	Umschlag staubender Güter im Binnenschiff-, Eisenbahn- und LKW-Verkehr wie Getreide und Futtermittel, Kohle, Koks, Erze, Sand, Kies und Natursteine
Sonstige anthropogene Quellen	Krematorien, Tabakrauch, Feuerwerke, diffuse Prozesse in der Landwirtschaft (Tierhaltung, Ernten von Getreide, Bodenbearbeitung), diffuse Bauprozesse, Braten und Grillen von Lebensmitteln

Tab. 3.1: Relevante Quellen für die Entstehung von Feinstäuben sind vor allem der Betrieb von Dieselmotoren im Verkehr, die Verfeuerung der festen Brennstoffe Kohle und Holz und einige Prozesse in der Primärindustrie (Quelle: Pregger, 2006)]

3.2 Straßenverkehrsbedingte PM2.5-Emissionen

Die PM2.5-Emissionen setzen sich aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen. In der Fortschreibung des Merkblattes für Luftverunreinigungen an Straßen (MLuS) durch ein Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wird eine Literaturrecherche zum Thema ausgewertet (Lohmeyer, 2009). Die wesentlichen Ergebnisse werden im Folgenden aufgeführt und methodisch fortgeschrieben.

3.2.1 Motorbedingte PM2.5-Emissionsfaktoren

Die motorbedingten Emissionen können nach vorliegenden Erkenntnissen (z. B. Klingenberg et al., 1991; Israël et al., 1994; Gehrig et al., 2003) zu 100 % Partikelgrößen kleiner 1 µm (aerodynamischer Durchmesser) zugeordnet werden und fallen somit auch voll in die PM2.5-Fraktion.

Die Berechnung der motorbedingten Partikelemissionen erfolgt mithilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (HBEFA). Diese Emissionsfaktorendatenbank wurde erstmals 1995 veröffentlicht und liegt derzeit in der vierten Aktualisierungsversion aus dem Jahre 2010 als HBEFA3.1 vor. Damit hat sich die Datenbasis zur Berechnung der motorbedingten Emissionen gegenüber der Situation zu Beginn der Projektbearbeitung im Jahre 2009 wesentlich geändert, da in HBEFA3.1 nicht nur Daten aktualisiert bzw. ergänzt wurden, sondern die gesamte Struktur der Verkehrssituationen geändert wurde. Da das Projekt zur Einarbeitung des HBEFA3.1 in das sächsische Emissionskataster erst im März 2011 abgeschlossen sein wird ², erfolgt die Berechnung der warmen PM2.5-Emissionen im Rahmen dieses Projektes vorerst noch mit HBEFA2.1 (Näheres über das weitere Vorgehen diesbezüglich siehe Kapitel 5). Die folgenden Ausführungen zur Datenlage in HBEFA beziehen sich deshalb auf HBEFA2.1, sowie auf vergleichende Betrachtungen HBEFA2.1/3.1. Falls keine HBEFA-Versionsbezeichnung verwendet wird, beziehen sich die Ausführungen allgemein sowohl auf HBEFA2.1 als auch HBEFA3.1.

² Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs / Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, TU Dresden; im Auftrag des Sächsisches Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), 2010-2011

In HBEFA werden die Partikelemissionen nur als PM10 ausgewiesen, die Modellierung der motorbedingten PM2.5-Emissionen erfolgt deshalb unter der oben genannten Annahme, dass alle motorbedingten PM10-Partikel zu 100 % in die Größenklasse PM2.5 fallen.

HBEFA enthält Emissionsfaktoren in verschiedenen Disaggregationsstufen der Fahrzeuge für eine Vielzahl von Verkehrssituationen sowie Streckenlängsneigungsklassen. Dabei gliedert sich der Fahrzeugbestand zunächst nach Fahrzeugkategorien wie z. B. PKW, LKW oder Busse. Jede dieser Kategorien setzt sich aus Fahrzeugschichten zusammen, die ein annähernd gleiches Emissionsverhalten aufweisen. Gliederungskriterien sind dabei im Wesentlichen die Antriebsart, die EURO-Abgasnormen sowie der Hubraum bzw. das Fahrzeuggewicht. So gliedert sich beispielsweise die Fahrzeugkategorie PKW in 75 unterschiedliche Fahrzeugschichten. Für jede dieser einzelnen Schichten liegen Emissionsfaktoren 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 relevant. In HBEFA werden dazu standardmäßig Deutschland-Mittelwerte verwendet.

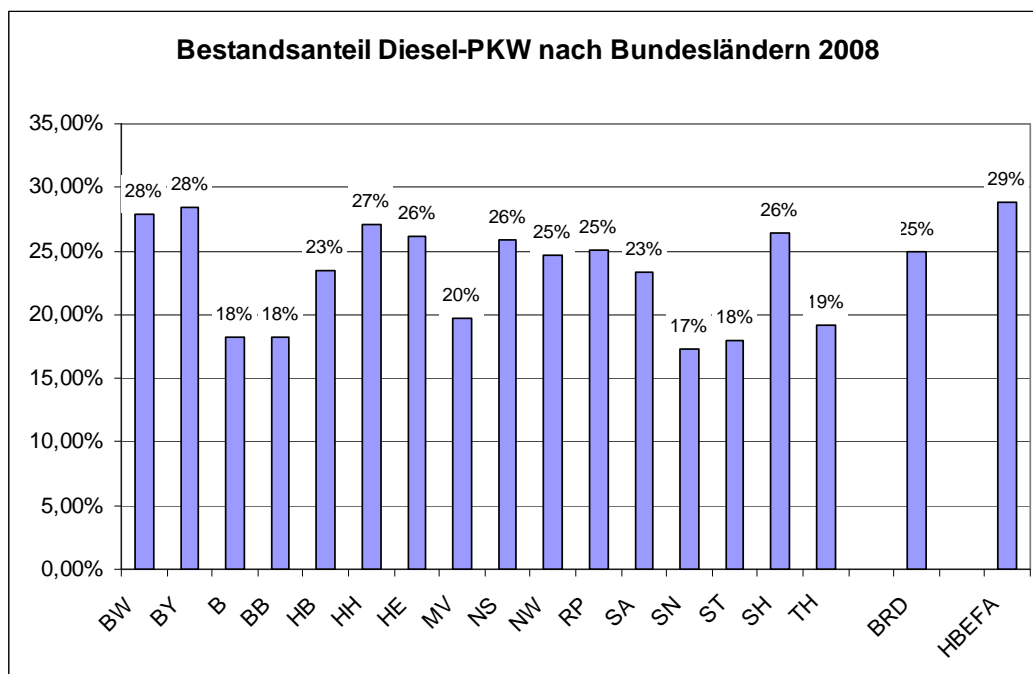


Abb. 3.1: Bestandsanteile Diesel-PKW 2008 nach Bundesländern [KBA-Statistik]

Dass die regionalen Abweichungen zum bundesdeutschen Durchschnitt relativ groß sein können, zeigt beispielhaft der Bestandsanteil an Diesel-PKW nach deutschen Bundesländern in **Abb. 3.1**. Danach liegen in allen fünf neuen Bundesländern die Diesel-Anteile deutlich unter dem bundesdeutschen Durchschnitt - Sachsen weist mit 17 % im Bundesvergleich sogar den geringsten Anteil auf. Der reale Bestandsanteil beträgt im Bundesdurchschnitt 25 %, in HBEFA2.1 wurden für das Jahr 2008 sogar 29 % prognostiziert. In HBEFA3.1 wurden die Fahrleistungsanteile korrigiert, sodass dort nunmehr für den Diesel-PKW-Bestand des Jahres 2008 der bundesdeutsche Durchschnitt des KBA von 25% 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; vielmehr sollte mit einer regionalspezifischen, dem realen Fahrzeugbestand des Bezugsjahres möglichst genau entsprechenden Flottenzusammensetzung gerechnet werden. Eine gute Datengrundlage liefert dazu die Statistik des Kraftfahrtbundesamtes (KBA).

Die gewichteten Emissionsfaktoren der einzelnen Fahrzeugkategorien sind auf Grund der spezifischen Bauart und Motorleistung sehr unterschiedlich. So sind z. B. die motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren der schweren Nutzfahrzeuge im Innerortsverkehr ca. 30fach höher als die der Kategorie PKW. Zur Berechnung eines Emissionsfaktors, der das gesamte Fahrzeugkollektiv widerspiegeln soll, sind deshalb genaue Angaben zur Verkehrszusammensetzung, das heißt den Anteilen der einzelnen Fahrzeugkategorien am Gesamtverkehr notwendig. Datenquellen sind dazu automatische Pegelzählstellen, mobile automatische Zählgeräte mit Fahrzeuglängensklassenerfassung oder auch manuelle Erhebungen.

Die Emissionshöhe hängt außerdem - vor allem im Innerortsverkehr mit zum Teil großen Beeinträchtigungen im Verkehrsablauf - stark vom Fahrverhalten ab. In HBEFA wird das Fahrverhalten über Verkehrssituationen beschrieben.

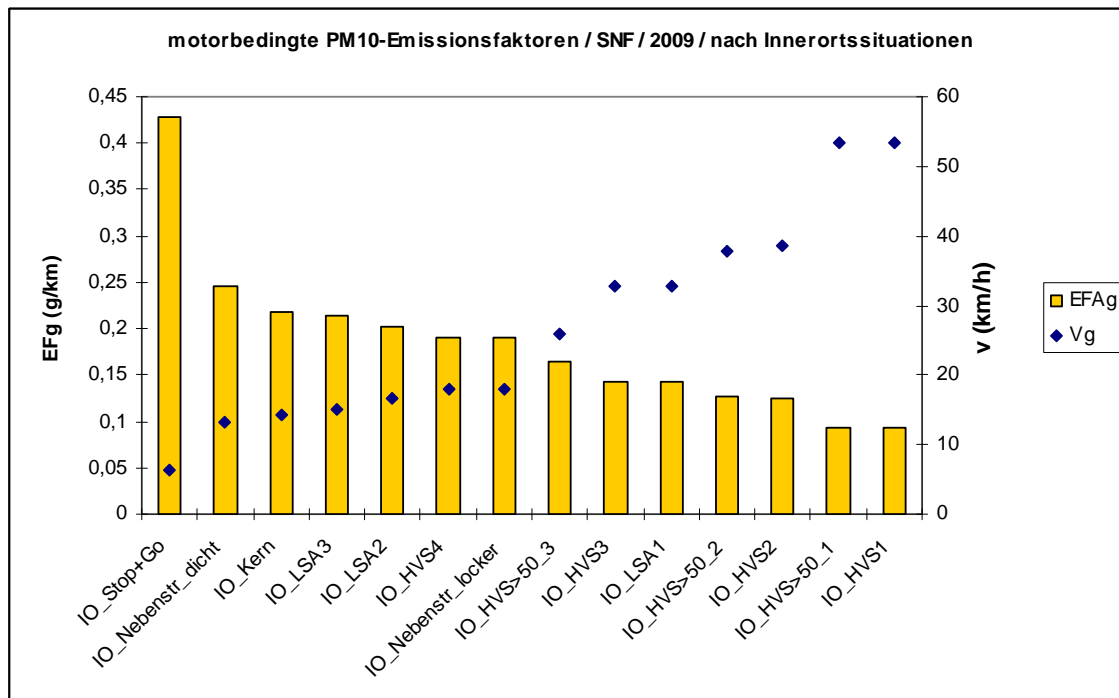


Abb. 3.2: Motorbedingte PM10-Emissionsfaktoren schwerer Nutzfahrzeuge 2009 nach Innerortsverkehrssituationen [HBEFA2.1]

Wie in **Abb. 3.2** dargestellt, ist beispielsweise der motorbedingte PM10-Emissionsfaktor der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) für Innerorts-Stop&Go-Fahrverhalten nach HBEFA2.1 fast fünf mal höher als der bei störungsfreier Fahrt. Die Verkehrssituationen in HBEFA2.1 basieren auf Fahrmustern, die in einer umfangreichen Untersuchung im realen Straßenverkehr ermittelt wurden³. Die Fahrmuster werden dabei durch die Fahrverhaltenskennwerte

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

unter Angabe der Perzentile zur statistischen Beschreibung der Mittelwerte definiert.

Die Systematik zur Berücksichtigung des Fahrverhaltens über die Verkehrssituationen stellt die wesentlichste strukturelle Änderung von HBEFA3 gegenüber HBEFA2.1 dar. In HBEFA3.1 werden aus Kombination der Kriterien

³ Untersuchungen des repräsentativen Fahrverhaltens von PKW auf Stadt- und Landstraßen; Heusch/Boesefeldt, 1993

- Straßenlage (Autobahn, Landstraße, Innerortsstraße)
- Straßentyp (Straßenkategorie, Spuranzahl, Kurvigkeit)
- Tempolimit (30 km/h - 130 km/h sowie ohne Tempolimit) sowie
- 4 Level of service (LOS) (freie Fahrt, stark befahren, Kapazitätsgrenze, Stau)

insgesamt 276 Verkehrssituationen definiert. Als Fahrverhaltenskennwerte werden dazu jeweils die

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

angegeben. 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.

Die Bestimmung der Verkehrssituation ist demnach mit großen Unsicherheiten verbunden. Da durch Fehleinschätzungen - insbesondere durch unzutreffende Stop&Go-Anteile - jedoch grobe Fehler entstehen können, sollte die Ermittlung der Verkehrssituation möglichst durch messtechnische Erfassung aller genannten Fahrverhaltenskennwerte erfolgen.

Da sich die neue Systematik sowohl von der verbalen Definition als auch von den verwendeten Fahrverhaltenskennwerte komplett von der des HBEFA2.1 unterscheidet, kommt es zu erheblichen Zuordnungsproblemen der alten zu den neuen Verkehrssituationen. Um die neuen Emissionsfaktoren auf die bestehenden Daten zur Verkehrssituation nach HBEFA2.1 übertragen zu können, ist diese Zuordnung jedoch nötig.

In HBEFA wurde zur Übertragung der *durchschnittlichen Verkehrssituation auf Innerortsstraßen* von HBEFA2.1 nach HBEFA3.1 die Zuordnung in **Tab. 3.2** vorgenommen. Diese Zuordnung ist jedoch für die Übertragung räumlich sehr differenzierter Verkehrssituationen, wie sie beispielsweise als Ergebnis einer messtechnischen Erfassung vorliegen, nur bedingt geeignet, da sich die damit verbundenen Differenzierung der Emissionsfaktoren durch das Zusammenfassen mehrerer Verkehrssituationen, insbesondere im innerortsrelevanten Ge-

schwindigkeitsbereich 25 - 45 km/h der Verkehrssituationen LSA1-3, HVS2-4, nicht abbilden lassen.

Anteil HBEFA2.1	Verkehrssituation HBEFA2.1	Anteil HBEFA3.1	Verkehrssituation HBEFA3.1
100 %	IO_HVS>50_1	100 %	Agglo/HVS/70/fluessig
100 %	IO_HVS>50_2	100 %	Agglo/HVS/70/dicht
100 %	IO_HVS>50_3	100 %	Agglo/HVS/70/gesaettigt
100 %	IO_HVS1	100 %	Agglo/HVS/50/fluessig
25 %	IO_HVS2	100 %	Agglo/HVS/50/dicht
25 %	IO_HVS3		
25 %	IO_LSA1		
25 %	IO_LSA2		
50 %	IO_LSA3	100 %	Agglo/HVS/50/gesaettigt
50 %	IO_HVS4		
100 %	IO_Nebenstr_dicht	50 %	Agglo/Erschliessung/50/dicht
		50 %	Agglo/Erschliessung/50/gesaettigt
100 %	IO_Stop+Go	100 %	Agglo/HVS/50/stop+go

Tab. 3.2: Zuordnung Innerortsverkehrssituationen HBEFA2.1/HBEFA3.1 nach HBEFA

Im Rahmen des Projektes zur Einarbeitung des HBEFA3.1 in das sächsische Emissionskataster wurde deshalb eine Zuordnungssystematik entwickelt, die den Anforderungen an die Übertragung räumlich differenzierter Verkehrssituationen gerecht wird (siehe **Tab. 3.3**). Diese Zuordnung ist jedoch nicht vollständig, sie wurde vielmehr nur für alle im sächsischen Emissionskataster relevanten Verkehrssituationen vorgenommen. Das betrifft jedoch alle Innerortssituationen sowie die wesentlichen Außerorts- und Autobahnsituationen, sodass diese Zuordnung für die meisten praktischen Anwendungsfälle ausreichend ist.

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
	IO_Stop+Go	100 %	IO-StGo

Tab. 3.3: Zuordnung Innerortsverkehrssituationen HBEFA2.1/HBEFA3.1 für sächsisches Emissionskataster

Die **Abb. 3.3** zeigt vergleichend die motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren der Verkehrssituationen nach HBEFA2.1 und 3.1 entsprechend der Zuordnung in **Tab. 3.3**.

Die Stop+Go-Verkehrssituationen des HBEFA2.1 und 3.1 sind durch die unterschiedlichen Reisegeschwindigkeiten von 5.3 km/h in HBEFA2.1 gegenüber 12.7 km/h in HBEFA3.1 nur bedingt vergleichbar. Das bedeutet, dass zur Übertragung von HBEFA2.1-STGO-Anteilen die HBEFA3.1-STGO-Anteile erhöht werden müssen. Die Zuordnungssystematik weist für HBEFA2.1-STGO-Anteile von bis zu 30 % einen Faktor von 3.3 aus, höhere STGO-Anteile werden mit 100 % HBEFA3.1-STGO übertragen.

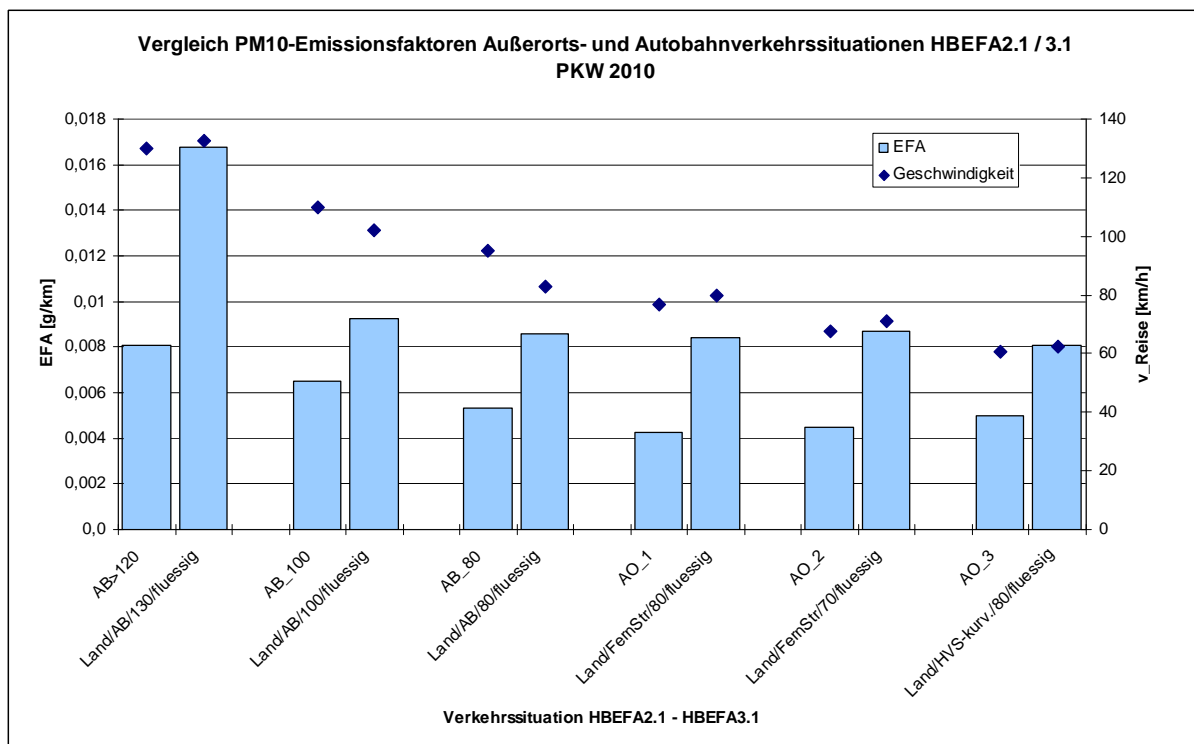
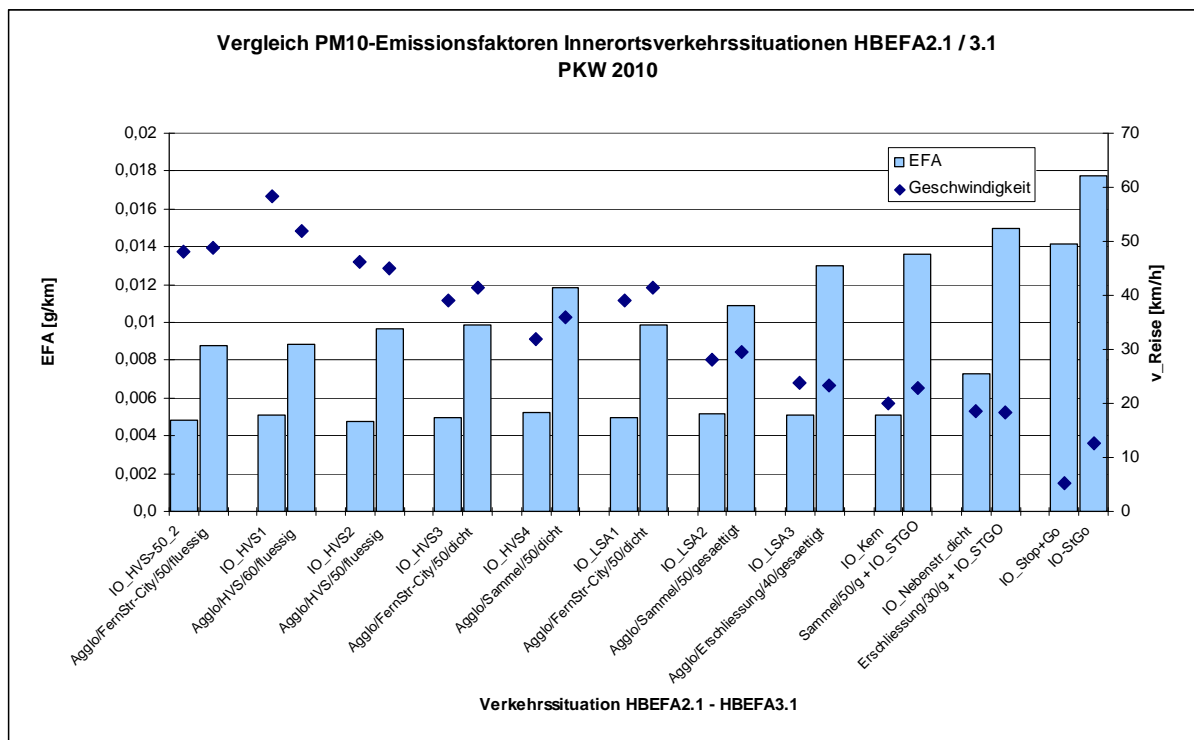


Abb. 3.3 Vergleich der motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren der Verkehrssituationen Innerorts (oben) sowie Außerorts und Autobahnen (unten) nach HBEFA2.1 und 3.1

Unabhängig von der Zuordnung der Verkehrssituationen liegt das Gesamtniveau der PM10-Emissionsfaktoren in HBEFA3.1 jedoch allgemein über dem der Faktoren in HBEFA2.1. Das liegt einerseits darin begründet, dass in HBEFA3.1 im Gegensatz zu 2.1 auch für benzingetriebene Fahrzeuge PM10-Emissionsfaktoren ausgewiesen werden, andererseits aber auch durch nunmehr verfügbare Messwerte für EURO4 und EURO5-Fahrzeugen, wodurch die zum Teil prognostizierten Werte aus HBEFA2.1 in HBEFA3.1 noch oben korrigiert wurden. **Abb. 3.4** vergleicht exemplarisch das PM10-Emissionsniveau der PKW-Flotte 2010 für die HBEFA2.1 Verkehrssituation LSA2 mit - aus Sicht der mittleren Reisegeschwindigkeiten - vergleichbaren Verkehrssituationen des HBEFA3.1. Danach liegen die Faktoren in HBEFA3.1 50-100 % über dem des HBEFA2.1.

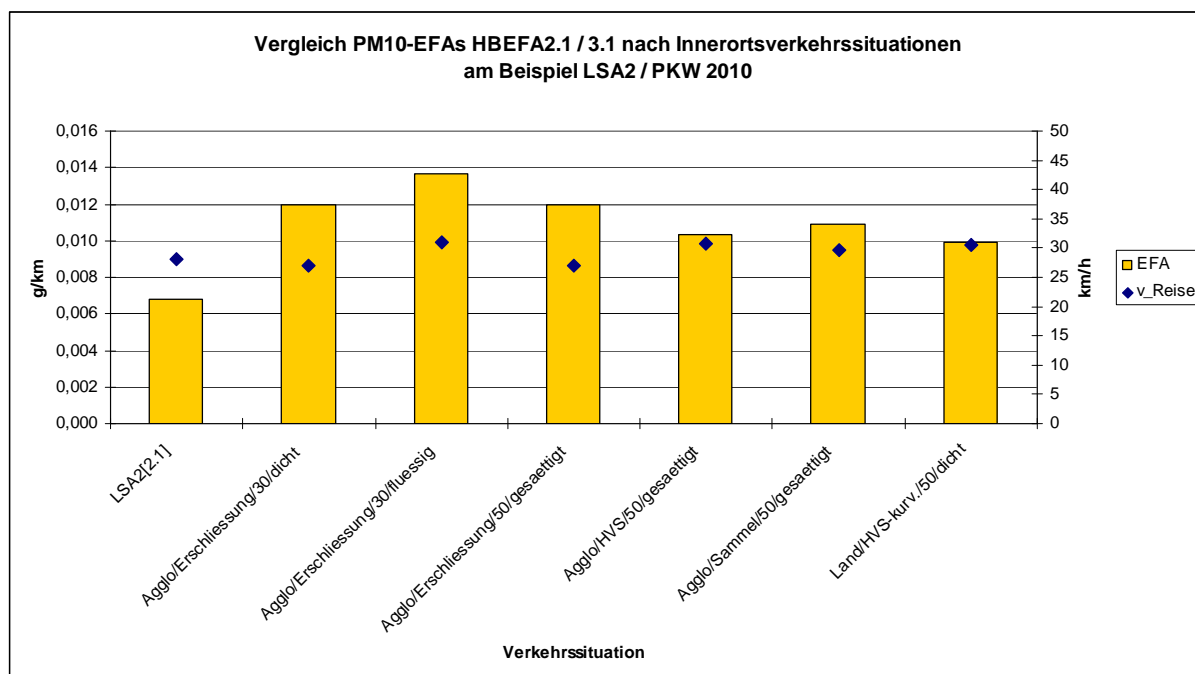


Abb. 3.4: Exemplarischer Vergleich PM10-EFAs HBEFA2.1 / HBEFA3.1 (LSA2 / PKW / 2010)

Zur Berücksichtigung des Einflusses der Streckenlängsneigung liegen in HBEFA Emissionsfaktoren für die Längsneigungsklassen 2 %, 4 % und 6 % vor. Wie in **Abb. 3.5** dargestellt, erhöhen sich die Emissionsfaktoren bei 6 % Steigung um zum Teil über 100 %. Bei Gefälle sinkt der Emissionsfaktor zwar, jedoch nicht in gleichem Maße, wie er bei Steigung zunimmt, sodass es bei Straßen mit einer Streckenlängsneigung, auf denen der Verkehr im Tagesmittel in beiden Richtungen nahezu gleichverteilt ist, zu einer generellen Erhöhung des Emissionsfaktors kommt. In HBEFA ist für diesen Fall der Längsneigungseinfluss für Steigung und Gefälle standardmäßig gemittelt.

Wegen des relativ steilen Verlaufs der Funktionen bei Steigungen kann angenommen werden, dass es bei Straßen mit einer Streckenlängsneigung von über 6 % zu einer weiteren Erhöhung des Emissionsfaktors kommen muss. Für diese Anwendungsfälle liegen jedoch weder in HBEFA2.1 noch in HBEFA3.1 Daten vor. Eventuelle Extrapolationen aus den vorhandenen Werten sind mit Unsicherheiten verbunden.

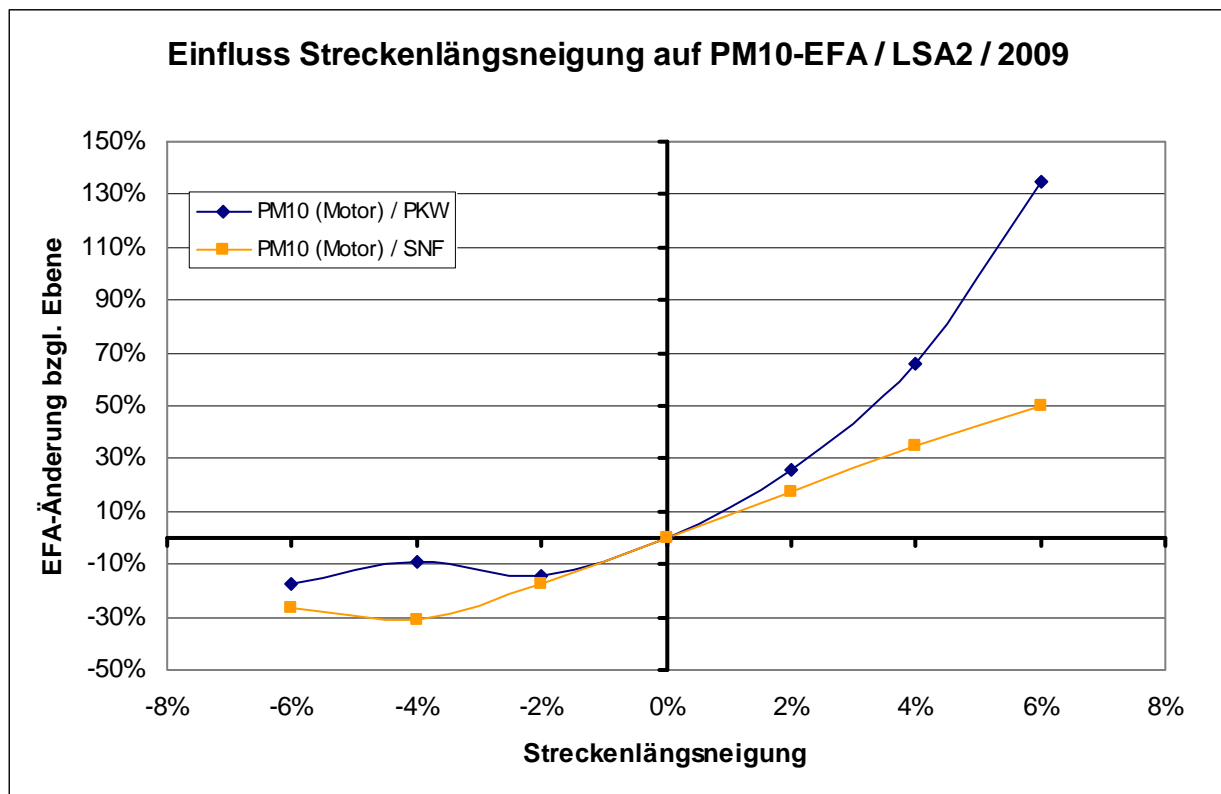


Abb. 3.5: Einfluss Streckenlängsneigung auf Emissionsfaktoren [HBEFA2.1]

Die Kaltstartzuschläge, das heißt die Erhöhung des Emissionsfaktors im warmen Betriebszustand um einen Zuschlag, der die zusätzlichen Emissionen auf Grund des kalten Motors - und vor allem des kalten Katalysators - berücksichtigt, werden in HBEFA in Gramm pro Start ausgewiesen. Die Höhe des Kaltstartzuschlages liegt zu Beginn einer Fahrt mit kaltem Motor deutlich über dem Emissionsfaktors im warmen Betrieb. Er nimmt mit zunehmender Fahrstrecke exponential ab und wird nach über 4 km gar nicht mehr berücksichtigt, da dann das Fahrzeug im Allgemeinen seine Betriebstemperatur erreicht hat. **Abb. 3.6** zeigt exemplarisch den Emissionsverlauf eines Diesel-PKW EURO4 im Innerortsverkehr bei kaltem Motor. Darin zeigt sich, dass durch den exponentiellen Verlauf bereits ca. 90 % der Kaltstartemissionen auf den ersten beiden Fahrkilometern erbracht werden.

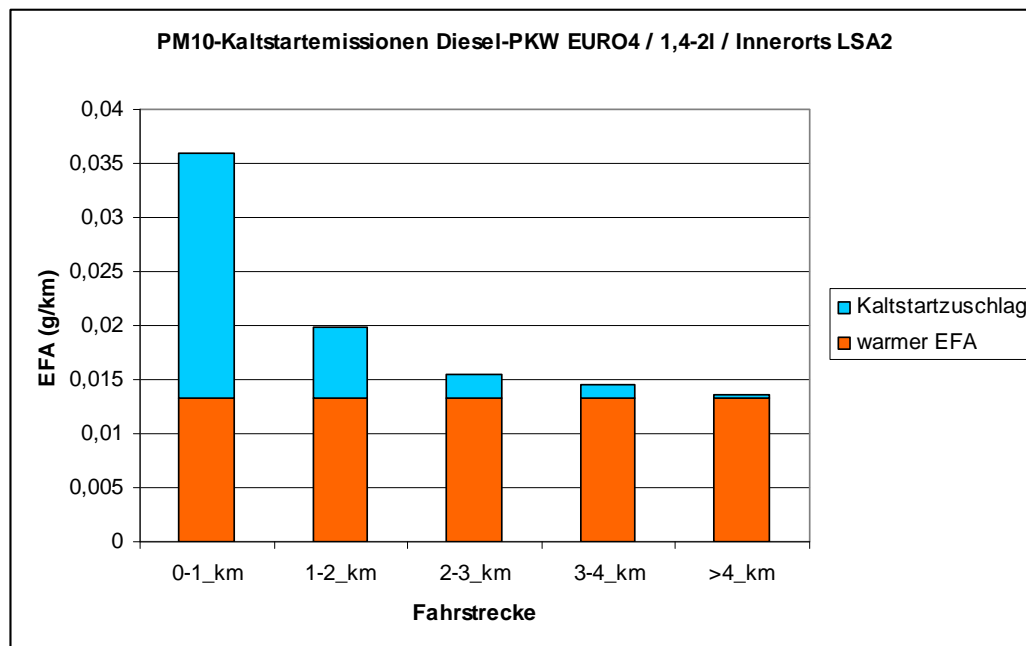


Abb. 3.6: PM10-Kaltstartemissionen Diesel-PKW EURO4 bei deutscher Jahresmitteltemperatur [HBEFA2.1]

Die exakte Berücksichtigung des Kaltstarteinflusses in der Emissionsmodellierung ist äußerst schwierig. So ist die Motortemperatur als maßgebender Parameter für die Höhe des Kaltstartzuschlags neben der Umgebungstemperatur vor allem von der Motor-„Restwärme“ abhängig, das heißt von der Temperatur, die der Motor nach der vorangegangenen Fahrt aufwies sowie von der Zeit, die er seitdem gestanden hat. In HBEFA liegen zur Berücksichtigung dieser Einflüsse mittlere Standzeiten-, Fahrtweiten- und Temperaturverteilungen vor. Ist die Ermittlung der Höhe des Kaltstartzuschlags somit bereits einer Vielzahl von Unsicherheiten unterworfen, so ist die streckenfeine Zuordnung, das heißt der Ort der Erbringung des Kaltstarts - insbesondere der ersten beiden Fahrtkilometer - im Allgemeinen nicht mehr sinnvoll, da hierzu keine verlässlichen Daten vorliegen. In der Praxis - z. B. Emissionskataster Sachsen - werden die Kaltstartemissionen deshalb als Flächenemissionsquelle berücksichtigt.

3.2.2 Nicht motorbedingte PM2.5-Emissionsfaktoren

Untersuchungen der verkehrsbedingten Partikelmissionen zeigen, dass neben den Partikeln im Abgas auch nicht motorbedingte Partikelemissionen zu berücksichtigen sind, hervorgerufen durch Straßen-, Kupplungs- 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.

Ansätze in europäischen Datenbanken

Lükewille et al. (2002) gibt für die PM2.5-Emissionen aus Abrieben (Reifen, Bremsen, Straßenbelag) folgende Werte an:

Reifenabrieb	PM2.5 (g/km)
Leichte Nutzfahrzeuge:	0.0003
PKW:	0.0003
Schwere Nutzfahrzeuge:	0.0020
Motorräder:	0.0001
Bremsabrieb	PM2.5 (g/km)
Leichte Nutzfahrzeuge:	0.0022
PKW:	0.0022
Schwere Nutzfahrzeuge:	0.0071
Motorräder:	0.0003
Straßenabrieb	PM2.5 (g/km)
Leichte Nutzfahrzeuge:	0.0042
PKW:	0.0042
Schwere Nutzfahrzeuge:	0.0209
Motorräder:	0.0016

Diese Emissionsfaktoren für Reifen- und Bremsabrieb basieren im Wesentlichen auf Untersuchungen von Baumann und Ismeier (1997), Garben et al. (1996), Gebbe et al. (1997), Rauterberg-Wulff (1999a und 1999b) sowie Hüglin et al. (2000) und Informationen der US-EPA (1995). Die Emissionsfaktoren für Straßenabrieb entstammen dem holländischen Emissionskataster. Zur Aufteilung auf die PM2.5-Fraktion wurden die Faktoren der US-EPA (1995) verwendet. Eine Differenzierung in Verkehrssituationen erfolgte nicht. Die Resuspension von eingetragenen Straßenstaub ist in diesen Emissionsfaktoren nicht enthalten. Dies wird damit begründet, dass dieser Partikelanteil im wesentlichen aus größeren Partikeln besteht und somit nur im coarse mode (PM2.5 bis PM10) beinhaltet ist und somit keinen relevanten Beitrag zur PM2.5-Emission liefert. Kupplungsabrieb wird weitestgehend in den Kupplungsgehäusen zurückgehalten und liefert keinen relevanten Anteil zur PM2.5-Emission.

Die Summe aller Abriebe (Reifen, Bremsen und Straße) ergibt somit entsprechend o. g. Randbedingungen die in **Tab. 3.4** aufgeführten PM2.5-Emissionsfaktoren.

	Nicht motorbedingte PM2.5-Emissionsfaktoren [mg/km]
LNF	6.7
PKW	6.7
Schwerverkehr	30
Motorräder	2.0

Tab. 3.4: Nicht motorbedingte PM2.5-Emissionsfaktoren entsprechend Lükewille et al. (2002)

Es sei darauf verwiesen, dass insbesondere die Emissionsfaktoren für Straßenabrieb von den Autoren wegen fehlender systematischer Untersuchungen mit sehr großen Unsicherheiten bewertet worden. Palmgren et al. (2003) setzt z. B. die PM2.5-Straßenabriebsemissionen auf Basis von Untersuchungen von TNO aus dem Jahr 1997 zu null.

Im Emission Inventory Guidebook von EMEP/CORINAIR (Stand 2007) werden ebenfalls PMx-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_{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

$$v < 40 \text{ km/h:} \quad S_{\text{Reifen}}(v) = 1.39$$

$$40 \text{ km/h} \leq v \leq 90 \text{ km/h:} \quad S_{\text{Reifen}}(v) = -0.00974 \cdot v + 1.78$$

$$v > 90 \text{ km/h:} \quad S_{\text{Reifen}}(v) = 0.902$$

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

Reifenabrieb	$EF_{\text{TSPReifen}} [\text{mg}/\text{km}]$
PKW:	10.7
Leichte Nutzfahrzeuge:	16.9

Schwere Nutzfahrzeuge: 45.0*
Motorräder: 4.6

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

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

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

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

Die **Abb. 3.7** 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

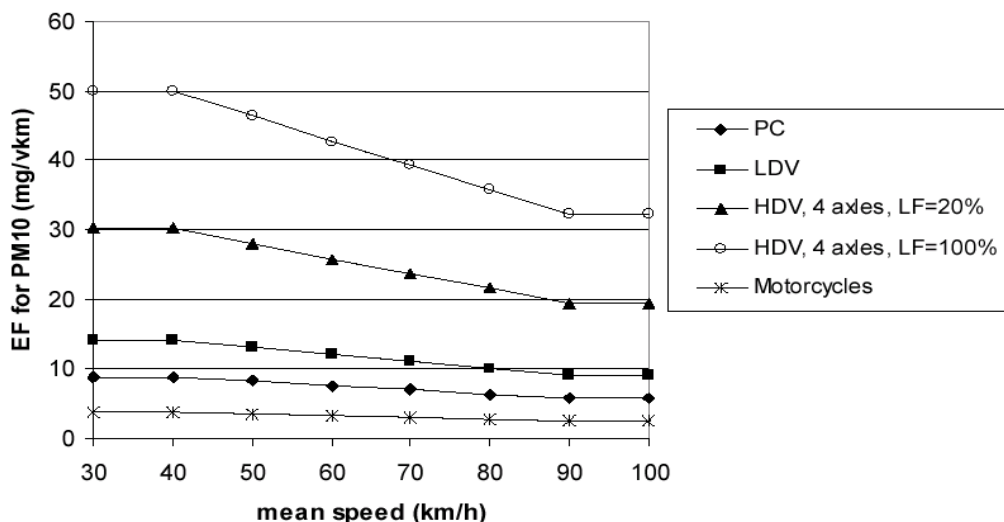


Abb. 3.7: Abhängigkeit der PM10-Emissionsfaktoren infolge *Reifenabrieb* von den Fahrzeuggeschwindigkeiten für die Fahrzeugklassen PKW (PC), leichte Nutzfahrzeuge (LDV), Schwerverkehr (HDV) mit 20 % bzw. 100 % Beladung (LF) sowie Motorräder. (Quelle: CORINAIR, 2007)

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

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

f_{Brems} = Anteil der Partikelfraktion an TSP

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

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

mit

$$\begin{aligned}
 v < 40\text{km/h:} & \quad S_{Brems}(v) = 1.67 \\
 40\text{km/h} \leq v \leq 95\text{km/h:} & \quad S_{Brems}(v) = -0.027 \cdot v + 2.75 \\
 v > 90\text{km/h:} & \quad S_{Brems}(v) = 0.185
 \end{aligned}$$

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

Bremsabrieb	$EF_{TSPBrems} [mg/km]$
PKW:	7.5

Leichte Nutzfahrzeuge:	11.7
Schwere Nutzfahrzeuge:	32.7*
Motorräder:	3.7

*(falls Beladungsgrad nicht bekannt ist, sonst

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

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

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. 3.8** zeigt beispielhaft die PM10-Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Fahrzeuggeschwindigkeit.

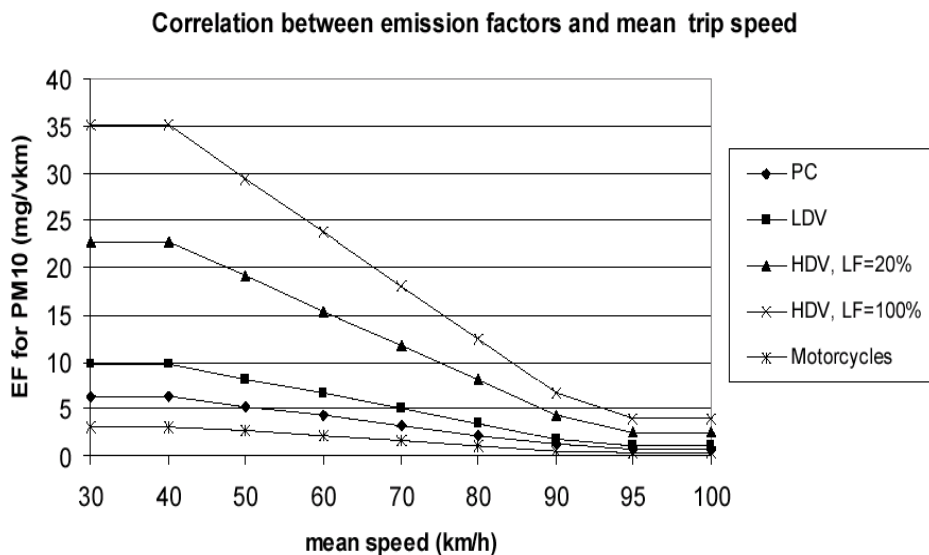


Abb. 3.8: Abhängigkeit der PM10-Emissionsfaktoren infolge *Bremsabrieb* von den Fahrzeuggeschwindigkeiten für die Fahrzeugklassen PKW (PC), leichte Nutzfahrzeuge (LDV), Schwerverkehr (HDV) mit 20 % bzw. 100 % Beladung (LF) sowie Motorräder (Quelle: CORINAIR, 2007)

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.

Für den Straßenabrieb lagen lt. der Autoren nur sehr wenig 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:

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

Auf Grundlage des in **Abb. 3.8** dargestellten Geschwindigkeitseinflusses und der in HBEFA zur Beschreibung der Verkehrssituationen enthaltenen Angaben zur mittleren Reisegeschwindigkeit können die Emissionsfaktoren den Verkehrssituationen des HBEFA zugeordnet werden. Entsprechend der derzeitigen Datenlage im FIS erfolgte die Zuordnung dabei zu den Verkehrssituationen des HBEFA2.1.

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, 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. Die Ergebnisse sind für die Bezugsjahre 1994 bis 2030 in den **Abb. 3.9** bis **Abb. 3.11** 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 (2009) 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. 3.12** bis **Abb. 3.13** dargestellt.

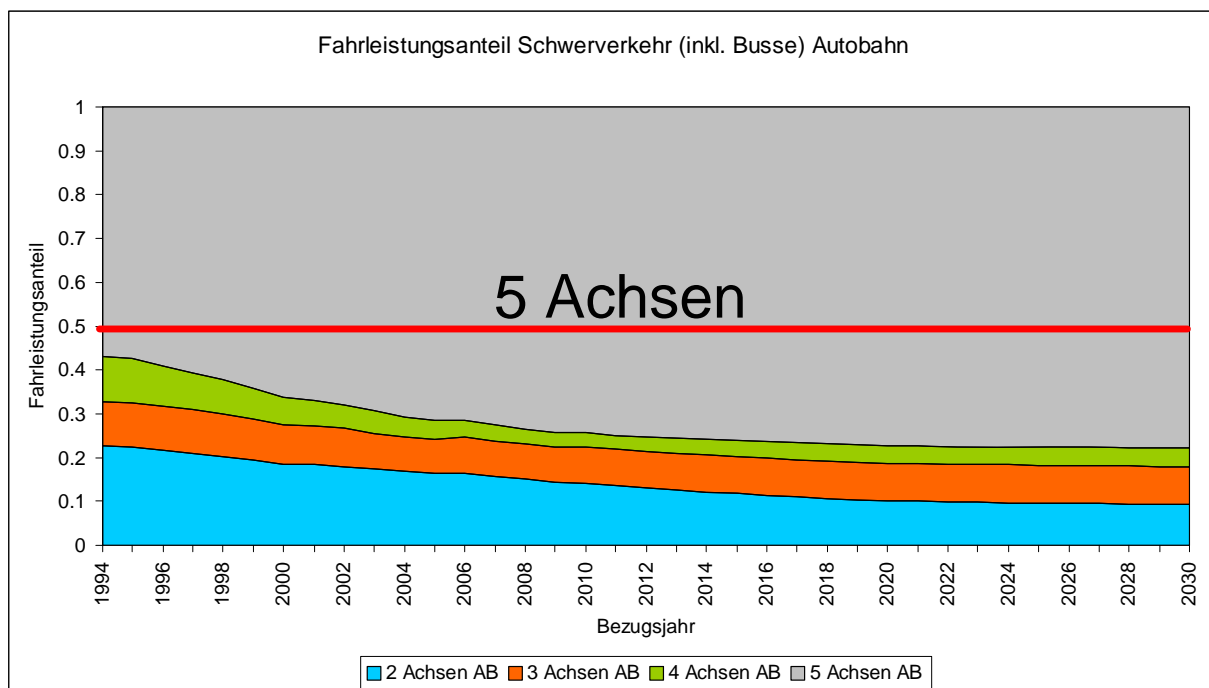


Abb. 3.9: Fahrleistungsanteile der Achszahl für den Schwerverkehr auf Autobahnen in Anlehnung an HBEFA3.1

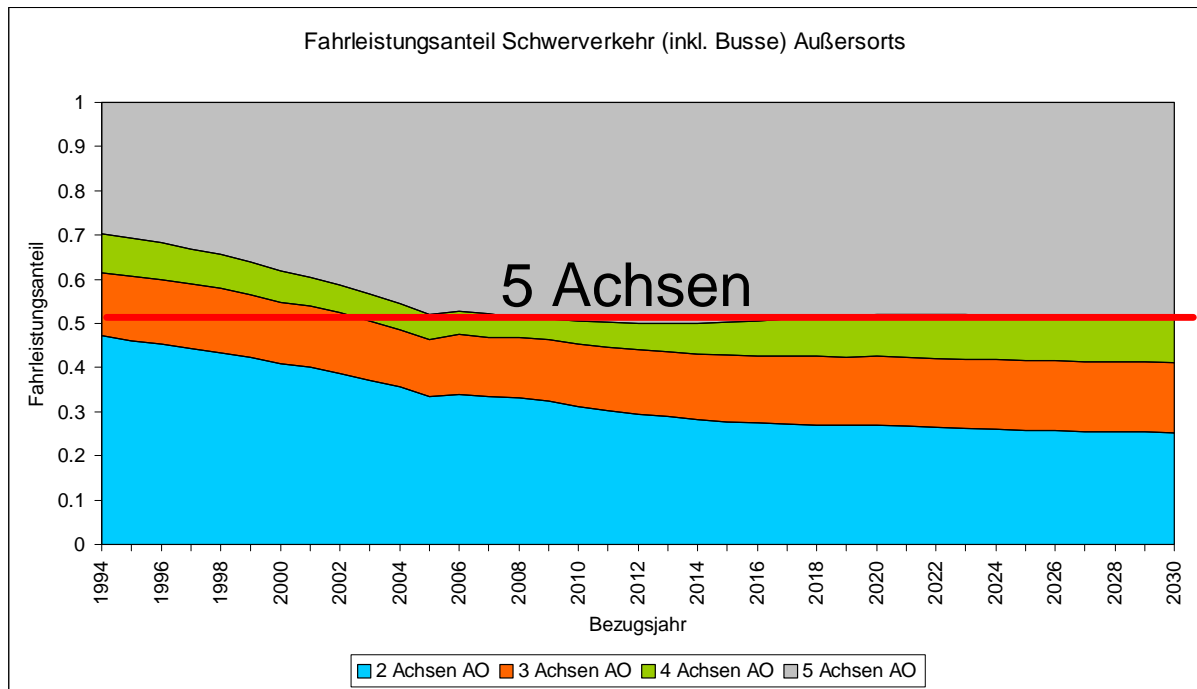


Abb. 3.10: Fahrleistungsanteile der Achszahl für den Schwerverkehr auf Außerortsstraßen in Anlehnung an HBEFA3.1

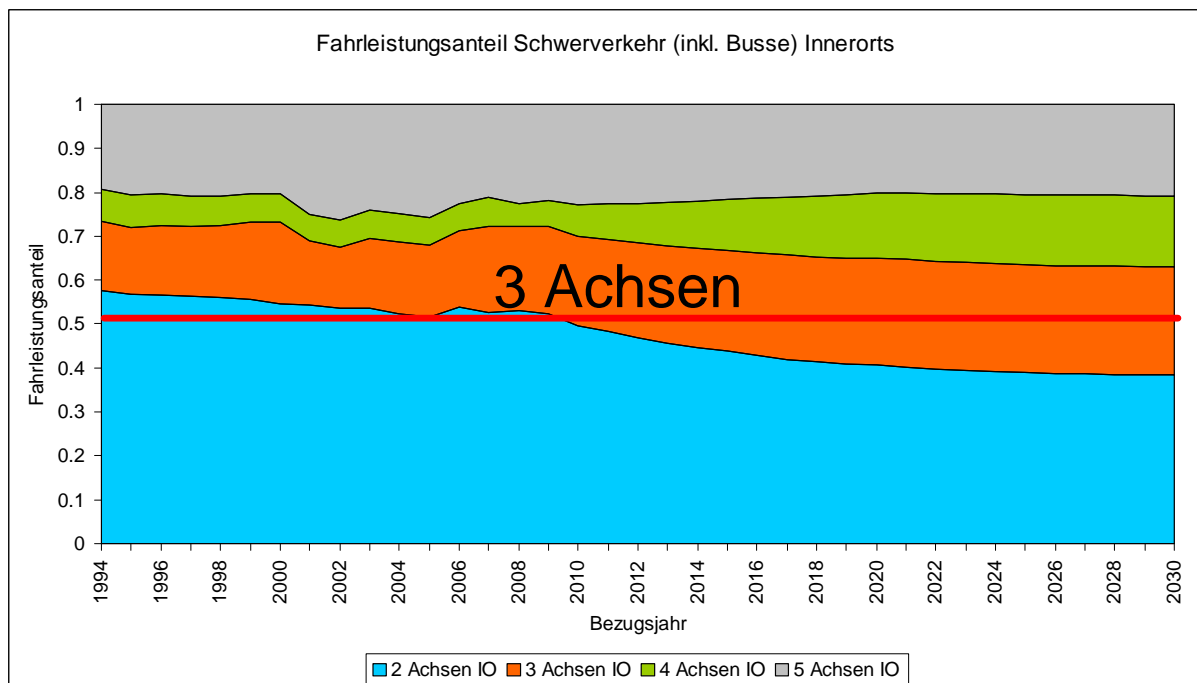


Abb. 3.11: Fahrleistungsanteile der Achszahl für den Schwerverkehr auf Innerortsstraßen in Anlehnung an HBEFA3.1

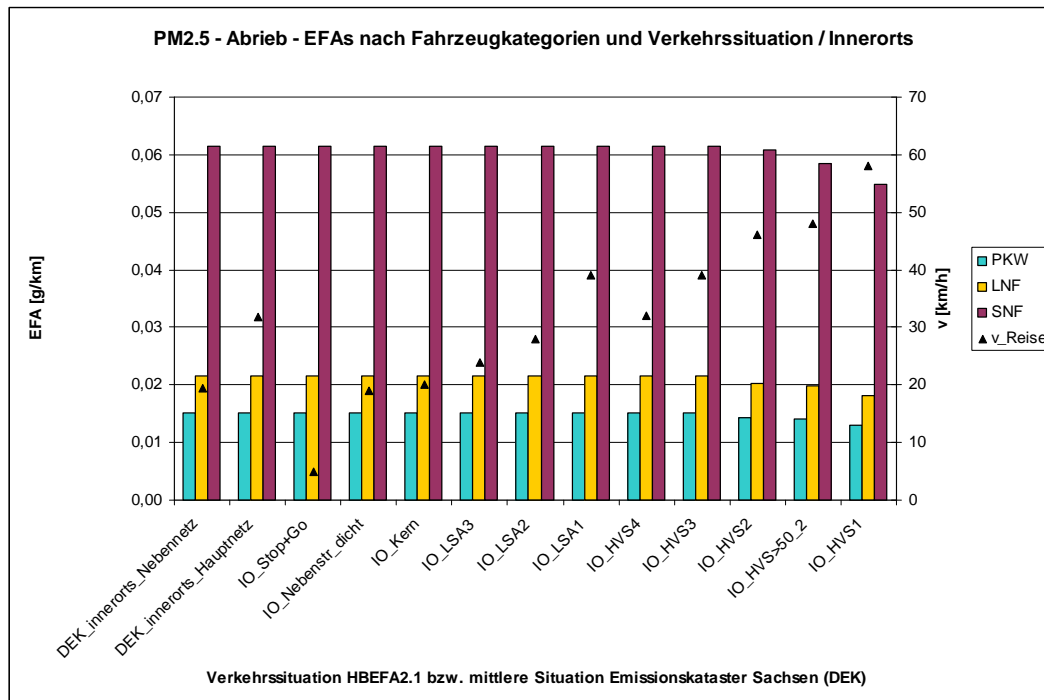


Abb. 3.12: Nicht motorbedingte PM2.5-Emissionsfaktoren für Abriebe entsprechend CORINAIR (2007) für HBEFA2.1 - Innerortsverkehrssituationen

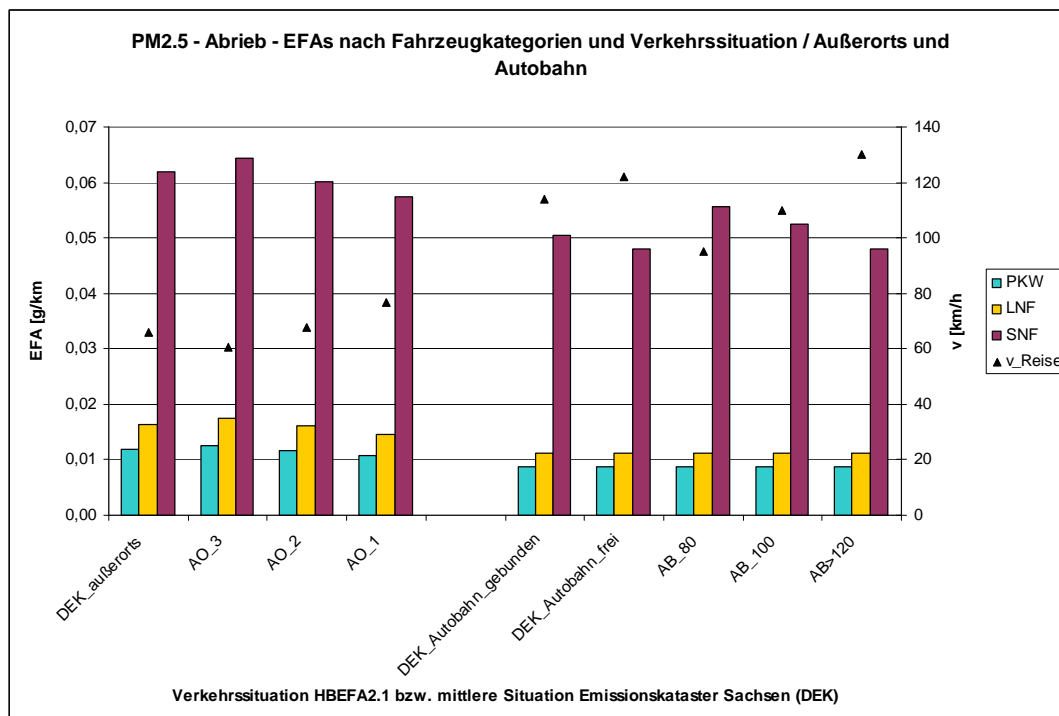


Abb. 3.13: Nicht motorbedingte PM2.5-Emissionsfaktoren für Abriebe entsprechend CORINAIR (2007) für HBEFA2.1 – Außerorts- und Autobahnverkehrssituationen

Diese Werte sind damit etwa 2 bis 3 mal höher, als die von Lükewille et al. (2002) verwendeten.

Die Schweizer BUWAL (2003) erstellt seit 2003 Konzentrationskarten u. a. für PM10 und PM2.5. Dort werden die in **Tab. 3.5** aufgeführten nicht motorbedingten PM2.5- bzw. PM10-Emissionsfaktoren angesetzt. Diese setzen sich aus Beiträgen von Reifen- und Bremsabrieb sowie aus Straßenabrieb und Staubaufwirbelung zusammen. Der Kupplungsabrieb wird vernachlässigt, da er im allgemeinen im Fahrzeug zurückgehalten wird. Der Anteil PM2.5/PM10 wird beim Reifenabrieb zu 10 %, beim Bremsabrieb zu 30 % und beim Straßenabrieb/Staubaufwirbelung zu 25 % angesetzt. Diese Werte werden unabhängig vom Straßentyp sowie unabhängig vom Verkehrsfluss angesetzt.

	Nicht motorbedingte PM2.5/PM10-Emissionsfaktoren [mg/km]		
	PKW	LNF	LKW
Reifenabrieb	1.3 / 13.2	2.5 / 24.7	20 / 200
Bremsabrieb	0.5 / 1.8	1.5 / 4.9	1.0 / 3.5
Straßenabrieb/ Staubaufwirbelung	7.4 / 29.7	7.4 / 29.7	113 / 450
Summe	9.2 / 45	11.4 / 59	134 / 650

Tab. 3.5: Nicht motorbedingte PMx-Emissionsfaktoren im Schweizer System zur Modellierung der PM2.5- und PM10-Immissionskarten (BUWAL, 2003)

Die hier angesetzten PM2.5-Emissionsfaktoren sind bei den PKW vergleichbar mit den Werten von Lükewille et al. (2002) aber tendenziell niedriger als bei CORINAIR (2007). Beim Schwerverkehr sind die BUWAL-Emissionsfaktoren ca. 2 bis 3 mal höher als bei CORINAIR (2007) bzw. 4 mal so hoch wie bei Lükewille et al. (2002).

TNO (2009) benutzt im Rahmen des PAREST-Projektes (siehe www.parest.de) als Resultat einer Literaturrecherche die in **Tab. 3.6** aufgeführten nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren. Die nicht motorbedingten PM2.5-Emissionsfaktoren werden pauschal mit 10 % der nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren angesetzt. Hierbei wird sich auf eine Arbeit von Thorpe et al. (2007) bezogen.

	Nicht motorbedingte PM2.5/PM10-Emissionsfaktoren [mg/km]		
	Autobahn	Außerortsstraßen	Innerortsstraßen
PKW inkl. LNF	2.2 / 22	4.8 / 48	4.8 / 48
Schwerverkehr	20 / 198	43 / 432	43 / 432

Tab. 3.6: Nicht motorbedingte PMx-Emissionsfaktoren im LOTOS-EUROS-Modell (TNO, 2009)

Diese PM2.5-Emissionsfaktoren sind für alle Fahrzeuggruppen niedriger als die in den **Tab. 3.2 bis 3.4** aufgeführten.

Die **Tab. 3.7** fasst die PM2.5-Emissionsfaktoren zusammen.

	Nicht motorbedingte PM2.5-Emissionsfaktoren [mg/km]					
	PKW		LNF		LKW	
	BAB	Innerorts	BAB	Innerorts	BAB	Innerorts
Lükewille et al. (2002)	6.7		6.7		30	
CORINAIR (2007)	9 bis 12	13 bis 16	11 bis 18	18 bis 22	48 bis 63	55 bis 61
BUWAL (2003)	9.2		11.4		134	
TNO (2009)	2.2	4.8	2.2	4.8	20	43

Tab. 3.7: Gegenüberstellung der in europäischen Datenbanken verwendeten nicht motorbedingten PM2.5-Emissionsfaktoren.

Ergebnisse von Einzeluntersuchungen

In BASt (2005) wird aus Immissionsdaten an der B 10 bei Karlsruhe für das Jahr 2003 PM10- und PM2.5-Emissionsfaktoren entsprechend **Tab. 3.8** abgeleitet. Die PM10-Emissionsfaktoren wurden dabei aus den kontinuierlichen 1/2-Stundenmittelwerten unter stabilen Luv-Lee-Bedingungen übernommen. Die Aufteilung in PM2.5 und PM2.5-10 wurde anhand der Differenzen (Lee minus Luv) der Konzentrationsanteile der gravimetrischen Proben (Tagesmittelwerte) bestimmt. Diese Emissionsfaktoren sind getrennt nach mittleren Werktag (Montag bis Freitag), Samstag sowie Sonntag in der **Tab. 3.8** zusammen mit den zugehörigen Verkehrsstärken aufgezeigt.

	Mo bis Fr n = 28	Sonntag n = 7
DTV [Kfz/d]*	79 000	51 500
Schwerverkehr [Kfz/d]*	12 700 (16 %)	1 200 (2 %)
PKW [Kfz/d]*	62 500 (79 %)	48 500 (94 %)
Lieferwagen [Kfz/d]*	3 800 (5 %)	1 800 (4 %)
PM10-Efaktor [mg/(km · Fzg)]*	86	67
PM2.5-Efaktor [mg/(km · Fzg)]*	43	31
PM(2.5-10)-Efaktor [mg/(km · Fzg)]*	43	37
PM-Efaktor nach HBEFA2.1 [mg/(km · Fzg)] für BAB 100km/h	34	15
PM2.5 minus PM nach HBEFA2.1 [mg/(km · Fzg)]	9	16

Tab. 3.8: Verkehrsstärken und Gesamtemissionsfaktoren am Messquerschnitt B 10 bei Karlsruhe. Der Emissionsfaktor PM10 wurde aus den kontinuierlichen ½-h-Mittelwerten abgeleitet, der PM2.5- bzw. PM(2.5-10)-Wert aus den gravimetrischen Anteilen PM2.5 an PM10 bestimmt. n = Anzahl der Analysetage.

*Quelle: BAST (2005)

Der PM2.5-Anteil am PM10 liegt hier somit bei ca. 50 %. Ca. 80 % (werktags) bzw. 50 % (sonntags) der PM2.5-Emissionen können mit den Auspuffemissionen nach HBEFA 2.1 erklärt werden.

Ketzel et al. (2007) geben auf Grundlage der Auswertung von Daten von Dauermessstellen in Straßenschluchten die in **Tab. 3.9** angegebenen Partikelemissionsfaktoren an. Der PM2.5-Anteil am PM10 liegt hier somit bei ca. 33 %. Ca. 70 % (Merseburger Straße) bzw. 97 % (HC-Andersens-Blvd.) der PM2.5-Emissionen können mit den Auspuffemissionen erklärt werden.

	Merseburger Straße/Halle	HC-Andersens- Blvd./Kopenhagen
DTV [Kfz/d]	35 000	60 000
Schwerverkehr [Kfz/d]	1 400 (4 %)	2 700 (4.5 %)
PKW inkl. Lieferwagen [Kfz/d]	33 600 (96 %)	57 300 (95.5 %)
PM10-Efaktor [mg/(km · Fzg)]	89	206
PM2.5-Efaktor [mg/(km · Fzg)]	29	70
PM(2.5-10)-Efaktor [mg/(km · Fzg)]	60	136
PM-Efaktor Auspuff [mg/(km · Fzg)] für HVS2	20	68
PM2.5 minus PM Auspuff [mg/(km · Fzg)]	9	2

Tab. 3.9: Verkehrsmengen und PM_x-Emissionsfaktoren für die Merseburger Straße in Halle und den HC-Andersens-Blvd in Kopenhagen. Bezugsjahre jeweils 2003/2004. Quelle: Ketzler et al. (2007)

Auf Basis einer umfangreichen Datenauswertung an der 6 streifigen Marylebone Road (Straßenschlucht) in London gaben Jones et al. (2006) die in **Tab. 3.9** aufgeführten mittels NO_x-Tracermethode gewonnenen PM_x-Emissionsfaktoren an. Der Anteil des PM_{2.5}- am PM₁₀-Emissionsfaktor liegt hier bei 30 % (PKW) bzw. 50 % (Schwerverkehr inkl. Busse), im Flottenmittel bei 40 %. Angaben zu motorbedingten PM_x-Emissionen werden nicht gemacht.

Aus Ergebnissen von Messdatenauswertungen am Märkischen Ring in Hagen leiteten Ludes et al. (2008) die in **Tab. 3.10** aufgeführten PM_x-Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2006 ab. Der Anteil des PM_{2.5}- am PM₁₀-Emissionsfaktor liegt hier bei 40 % (PKW) bzw. ca. 60 % (Schwerverkehr), für die Gesamtflotte bei 46 %. Ca. 60 % der PM_{2.5}-Emissionen können durch die Auspuffpartikel erklärt werden (46 % bei PKW und 73 % beim Schwerverkehr).

	Gesamt- flotte	PKW inkl. LNF	Schwer- verkehr
Schwerverkehr [Kfz/d]			8000
PKW inkl. Lieferwagen [Kfz/d]		72000	
PM10-Efaktor [mg/(km · Fzg)]	67	33 ± 6	370 ± 32
PM2.5-Efaktor [mg/(km · Fzg)]	27	10 ± 4	179 ± 22
PM(2.5-10)-Efaktor [mg/(km · Fzg)]	43	23 ± 5	191 ± 29

Tab. 3.10: Verkehrsmengen und PMx-Emissionsfaktoren für die Marylebone Road in London. Bezugsjahre jeweils 2002/2003. Quelle: Jones et al. (2006)

	Gesamt- flotte	PKW inkl. LNF	Schwer- verkehr
Schwerverkehr [Kfz/d]			1600
PKW inkl. Lieferwagen [Kfz/d]		37900	
PM10-Efaktor [mg/(km · Fzg)]	57	38.5	478
PM2.5-Efaktor [mg/(km · Fzg)]	26	15.5	272
PM(2.5-10)-Efaktor [mg/(km · Fzg)]	31	23	206
PM-Efaktor Auspuff [mg/(km · Fzg)] für LSA1	15	7.1	200
PM2.5 minus PM Auspuff [mg/(km · Fzg)]	11	8.4	72

Tab. 3.11: Verkehrsmengen und PMx-Emissionsfaktoren für den Märkischen Ring in Hagen. Bezugsjahr 2006. Abgeleitet aus Ludes et al. (2008)

Die IVU GmbH aus Freiburg verwendet in ihrem IMMIS-Luft-Emissionsmodul einen nicht motorbedingten PM2.5-Anteil an den nicht motorbedingten PM10-Emissionen von 54 %. Dieser Wert wurde aus Emissionsbilanzen einer Studie des Umweltbundesamtes (Jörß et al., 2007) abgeleitet. Die nicht motorbedingten PM2.5-Emissionsfaktoren variieren damit zwischen 12 und 49 mg/km (PKW) bzw. 108 bis 432 mg/km (LKW).

Lawrence et al. (2009) werteten PMx-Messungen aus November und Dezember 2006 im Tunnel bei Hatfield (England) aus. Bei einer dort vorhandenen Verkehrsmenge von 48 000 Kfz/Tag und einer Fahrgeschwindigkeit von 110 km/h wurde ein PM2.5-Emissions-

faktor von 12.2 mg/km abgeleitet. Der Anteil an den PM10-Emissionen (35.9 mg/km) lag hier bei 34 %. 27 % der PM10-Emissionen konnten durch Abgasemissionen (10.6 mg/km) erklärt werden. Daraus lässt sich ein nicht motorbedingter PM2.5-Emissionsfaktor von ca. 2 mg/km (entspricht etwa 16 % der PM2.5-Emissionen) bzw. ein nicht motorbedingter PM10-Emissionsfaktor von 25.3 mg/km (entspricht etwa 70 % der PM10-Emissionen) ableiten.

Bezüglich der Auswertung an sächsischen Messstationen sei im Vorgriff auf das Kapitel 4 verwiesen.

Weitere relevante Literaturstellen zu nicht motorbedingten PM2.5-Emissionsfaktoren auf befestigten Straßen in Europa wurden nicht gefunden.

3.2.3 Schlussfolgerungen aus der PM2.5-Literaturrecherche für Straßenverkehr

Zunächst kann festgestellt werden, dass alle Fachleute davon ausgehen, dass auch die PM2.5-Emissionen neben den Motoremissionen einen Anteil Emissionen aus Abrieben und ggf. der Wiederaufwirbelung von Straßenstaub beinhalten.

Die Bandbreite der angegebenen PM2.5-Emissionsfaktoren sowie der Anteil an den PM10-Emissionen streut erheblich. So wird der Anteil der nicht motorbedingten PM2.5-Emissionen an den nicht motorbedingten PM10-Emissionen mit 10 % bis 54 % angegeben.

Weiterhin ist festzustellen, dass es nur wenige, aus Immissionsmessdaten abgeleitete, PM2.5-Emissionsfaktoren gibt.

Ein Vergleich dieser wenigen, aus Immissionsmessdaten abgeleiteten, PM2.5-Emissionen mit den oben diskutierten Emissionsansätzen zeigt die **Abb. 3.14**.

Hierbei ist festzustellen, dass es wie erwartet große Streuungen gibt. Die Ansätze von BUWAL (2003) und IMMIS-Luft überschätzen die Messdaten deutlich. Der Ansatz von TNO (2009) unterschätzt tendenziell.

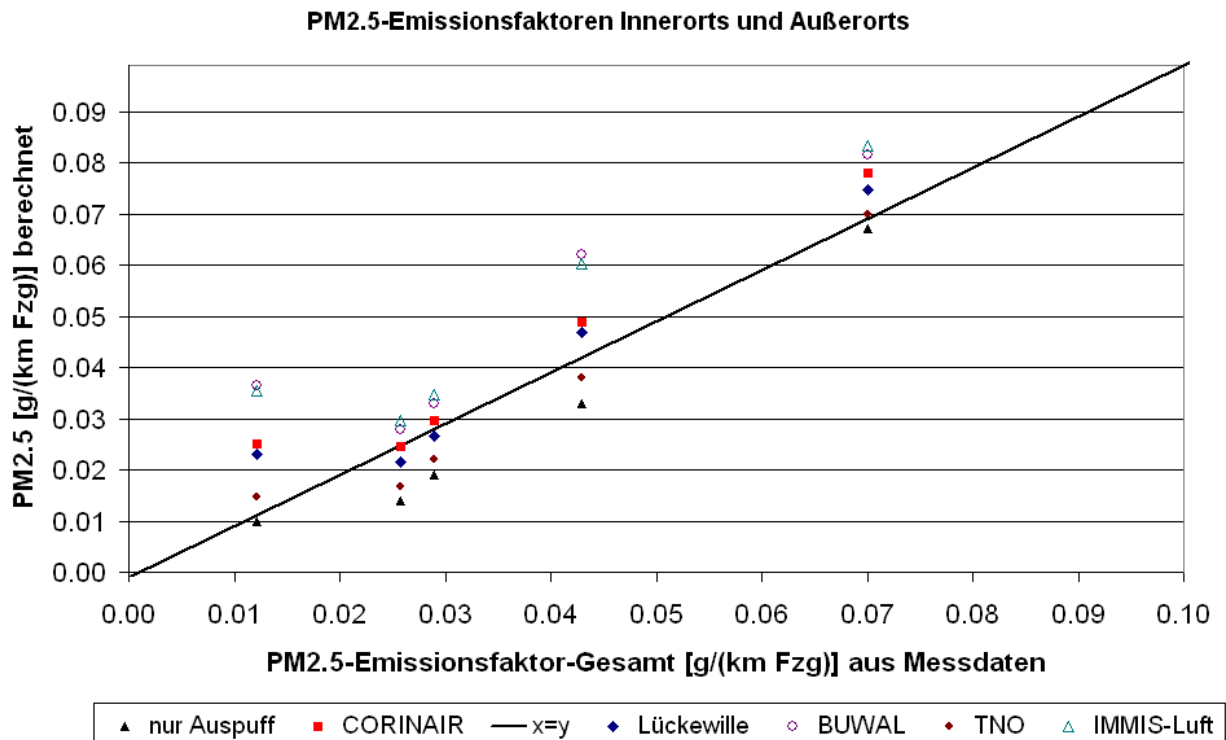


Abb. 3.14: Vergleich der aus Messdaten abgeleiteten PM2.5-Emissionsfaktoren mit den aus verschiedenen Emissionsansätzen ermittelten

Die Ansätze von Lückewille et al. (2002) und CORINAIR (2007) vergleichen sich am Besten mit den (wenigen) Messdaten, wobei davon der Ansatz aus CORINAIR keinen Messwert unterschätzt. Es wird deshalb vorgeschlagen, bzgl. der nicht motorbedingten PM2.5-Emissionen den Ansatz aus CORINAIR (2007) ins sächsische Emissionskataster zu integrieren. Solange keine eigenständige PM2.5-Emissionsberechnung im E-Kataster möglich ist, sollte die nicht motorbedingte PM2.5-Emission aus den nicht motorbedingten PM10-Emissionen für alle Fahrzeugklassen und Straßenkategorien mittels Faktor von 0.5 abgeschätzt werden.

Um eine deutliche Verbesserung der Aussagesicherheit zu erhalten, sind dringend weitere PM2.5-Immissionsdatenauswertungen nötig.

3.3 Flug- und Schienenverkehrsbedingte PM2.5-Emissionen

Das Schweizer BUWAL (2003) setzt auf Grundlage eigener Untersuchungen in seinem PM10-Emissionskataster für den Flugverkehr folgende Anteile PM2.5 an PM10 (**Tab. 3.12**) an:

Quellgruppe	Anteil PM2.5 an PM10
Motorbedingte Partikel	100 %
Reifenabrieb	10 %
Abrieb von Rollfeld	25 %

Tab. 3.12: Anteil PM2.5 am PM10 für Flugverkehr. Quelle: BUWAL (2003)

Im Rahmen von Bewertungen der Partikelimmissionen am Flughafen Frankfurt/Main setzten IER (2003) einen PM2.5-Anteil an der Gesamt PM10-Emission von 80 % an. Diese Anteile übernimmt auch Pregger (2006) in seiner Systematisierung.

Pregger (2006) bezieht sich in seiner Systematisierung schienengebundener Partikelemissionen auf Untersuchungen des BUWAL (2001) und gibt PM2.5-Anteile an Gesamtstaub von 15 % sowie an PM10 zwischen 15 % (Fahrleitungsabrieb) und 50 % (Bremsabrieb) an. Das Schweizer BUWAL (2003) setzt auf Grundlage eigener aktuellerer Untersuchungen in seinem PM10-Emissionskataster für den Schienenverkehr folgende Anteile PM2.5 an PM10 (**Tab. 3.13**) an:

Quellgruppe	Anteil PM2.5 an PM10
Motorbedingte Partikel	100 %
Schienen und Radabrieb	10 %
Bremsen und Fahrleitung	20 %
Aufwirbelung	25 %

Tab. 3.13: Anteil PM2.5 am PM10 für Schienenverkehr. Quelle: BUWAL (2003)

Weitere Hinweise wurden nicht gefunden. In Emissionsanalysen des Umweltbundesamtes (Jörß et al., 2007) werden diese PM2.5-Emissionen nicht behandelt. Auch CORINAIR (2007) und die US-EPA geben keine nicht motorbedingte PM2.5-Emissionen durch Flug- und Schienenverkehr an. Ebenso sind diese Emissionsbeiträge nicht im dänischen Emissionskataster enthalten.

3.4 Schiffsbedingte PM2.5-Emissionen

Schiffsbedingte PM2.5-Emissionen resultieren nur aus motorbedingten Emissionen. Diese können zu 100 % der PM2.5-Fraktion zugeordnet werden.

3.5 Industrie, Gewerbe und Hausbrand bedingte PM2.5-Emissionen

3.5.1 Gesetzliche emissionsseitige Regelungen zur Begrenzung von Staubbelastungen

Für die stationären Quellen in Deutschland werden gesetzliche Anforderungen an die Staubemissionen vom Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) bzw. den darauf basierenden Verordnungen (BImSchV) und der Verwaltungsvorschrift TA Luft gestellt. Neben Verordnungen, die Grenzwerte für besondere Quellgruppen enthalten, wie etwa die 13. BImSchV für Großfeuerungen, nennt die TA Luft (2002) weitere Emissionsgrenzwerte für genehmigungsbedürftige Anlagen, deren Überschreiten nach dem Stand der Technik vermeidbar ist. Die Grenzwerte wurden im Rahmen der Novellierung der TA Luft bis Mitte 2002 überarbeitet und an den bestehenden Stand der Technik angepasst.

Bislang existieren lediglich Reglementierungen des Gesamtstaubs. Für die Staubfraktionen PM10 und PM2.5 gibt es im deutschen Umweltrecht keine weiteren Anforderungen. Bei Kraftwerken und anderen genehmigungsbedürftigen Quellen wird vielmehr von hohen PM10- aber auch PM2.5-Anteilen ausgegangen, so dass geringere Emissionswerte für Gesamtstaub auch bezüglich PM10 für annähernd wirksam gehalten werden.

3.5.2 Industrie/Gewerbe (Großfeuerungsanlagen, genehmigungsbedürftige Anlagen, sonstige Feuerungsanlagen)

3.5.2.1 Genehmigungsbedürftige Anlagen/Industrielle Produktionsprozesse

Bei industriellen Produktionsprozessen entstehen Partikelemissionen in der Regel durch mehrere Anlagen bzw. Prozessstufen, die Partikel aus unterschiedlichen Entstehungsmechanismen und dadurch mit unterschiedlicher Partikelgrößenverteilung und chemischer Zusammensetzung beitragen. Emissionen entstehen auch durch die Prozessfeuerung und eventuell vor- oder nachgelagerte Transport- oder mechanische Aufbereitungsschritte (siehe hierzu auch **Tab. 3.13**).

In der Regel werden die Stäube von einer oder mehreren zentralen Abgasreinigungen erfasst. Es können aber auch diffuse Emissionen durch ungereinigtes Abgas beispielsweise über Dachreiter oder Hallenöffnungen entstehen. Auch mechanische Prozesse im Freien auf

dem Betriebsgelände, beispielsweise zur Aufbereitung von Einsatzstoffen oder Anlieferung/Abfuhr, können diffuse Emissionen verursachen.

Aus mehreren Messprogrammen liegen zum Teil sehr detaillierte Informationen über die Feinstaubemissionen aus industriellen Prozessen vor. Zur Darstellung der PM_{2.5}-Anteile sind allerdings bei einigen Prozessen noch keine Messdaten verfügbar. In diesen Fällen werden häufig Anhaltswerte von vergleichbaren Prozessen angesetzt (Pregger, 2006).

Bei den Produktionsprozessen sind die wesentlichen Quellen energieintensive Prozesse in der Primärindustrie, vor allem zur Herstellung von Metallen und Baustoffen. Der Umschlag staubender Güter führt zu hohen Gesamtstaubemissionen, die aber nur relativ geringe Feinstaubanteile besitzen.

Der Umschlag staubender Güter geschieht zu einem Großteil als Teilprozess von industriellen Herstellungsprozessen und ist zum Teil in den Emissionserklärungen der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen mit erfasst. Größere Aktivitäten außerhalb genehmigungsbedürftiger Anlagen finden beispielsweise in Form des Getreideumschlags bei landwirtschaftlichen Annahmestellen und beim Umschlag von Sand und Kies bei Bauprozessen und in Häfen statt.

Der Umschlag verursacht Emissionen mit relativ geringen Feinstaubanteilen und führt vor allem im Nahbereich einer Quelle zu Staubbelastungen. Einflussfaktoren sind hier lt. VDI-RL 3790, Blatt 3 (E), 2008 das Staubverhalten der bewegten Materialien, der Feuchtegehalt und die Agglomerationsneigung des Materials, sowie Parameter der Umschlagtechnik (Fallhöhe, Reibung, Hindernisse o. ä.).

Bei im Auftrag des LfU Bayern (2000) vermessenen Industrieanlagen (Zement-, Glas-, Keramik-, Metallindustrie, Asphaltmischanlagen, Schwerölfeuerungsanlagen) lag der Anteil von PM₁₀ am Gesamtstaub bei durchschnittlich 90 % (Schwankungsbreite 87 % bis 99 %) und der Anteil PM_{2.5} am Gesamtstaub bei ca. 50 % (Schwankungsbreite 18 % bis 88 %). Die entsprechenden Einzelwerte finden sich im **Anhang A1**. Ein signifikanter Einfluss der Art der Abgasreinigung (Elektrofilter oder Gewebefilter) auf die Korngrößenverteilung konnte nicht festgestellt werden. Die Messergebnisse zeigen, dass der überwiegende Anteil der Gesamtstaubemissionen als Feinstaub emittiert wird.

Auch Pregger (2006) sowie das Landesamt für Umwelt Sachsen Anhalt (z. B. Ehrlich et al., 2007) setzen sich mit den Partikelgrößenverteilungen infolge industrieller Prozesse ausein-

ander. Die entsprechenden Anteile PM_{2.5} am Gesamtstaub sind ebenfalls im **Anhang A1** aufgeführt.

3.5.2.2 Großfeuerungsanlagen

Öffentliche und industrielle Kraft- und Heizwerke und Feuerungsanlagen des übrigen Umwandlungsbereiches stellen zumeist genehmigungsbedürftige Anlagen dar (Obergruppe 01 „Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie“ des Anhangs der 4. BImSchV) und besitzen in der Regel eine Entstaubung, sofern es sich um den Einsatz fester Brennstoffe handelt. Dementsprechend sind die in der Literatur zu findenden Emissionsfaktoren relativ niedrig und die Feinstaubanteile relativ hoch. Bedingt durch die hohe Aktivität dieser Anlagen insgesamt werden nach wie vor bedeutende Partikelemissionen verursacht. Emissionen aus Prozessfeuerungen der Industrie sind nicht den energiebedingten Emissionen, sondern dem Sektor Produktionsprozesse zugeordnet.

Während bei den öffentlichen Kraft- und Heizwerken die Verfeuerung von Braunkohle (vor allem Rohbraunkohle) und Steinkohle die weitaus höchsten Emissionen verursacht, hat bei den industriellen Kraft- und Heizwerken zudem die Verfeuerung von schwerem Heizöl und anderen Mineralölprodukten bedeutende Emissionsanteile.

Systematisierungen von Partikelemissionsfaktoren bzw. deren Partikelauftteilung in PM₁₀ und PM_{2.5} finden sich in Pregger (2006) sowie Ehrlich et al. (2007) und werden im **Anhang A2** tabellarisch aufgeführt.

3.5.2.3 Kleinf Feuerungsanlagen (Haushalte, Kleinverbraucher)

Feuerungen von Haushalten und Kleinverbrauchern sind eine bedeutende Quellgruppe, die größtenteils aus nicht genehmigungsbedürftigen, durch die 1. BImSchV geregelten Anlagen besteht. Bei den Haushalten und Kleinverbrauchern verursacht der Einsatz von Brennholz die weitaus höchsten Emissionen. Die Emissionen aus den privaten Haushalten liegen hierbei deutlich höher als die der Kleinverbraucher. Bei den Haushaltsfeuerungen haben auch die verbliebenen Kohlefeuerungen und aufgrund der großen Aktivität die Ölfeuerungen bedeutende Emissionen. [siehe z. B. Pregger (2006), UBA (2008), Jörß et al. (2007)]

Die Emissionen aus Hausbrandfeuerungsanlagen (speziell Holzfeuerungen) können die lokale Partikelkonzentration in der Luft erhöhen. Da Hausbrandfeuerungsanlagen dort vor-

kommen, wo Menschen einen Großteil ihrer Zeit verbringen, war es Anlass für detaillierte Untersuchungen (UBA, 2008; Glasius et al., 2006). In Europa verursachten die Haushalte im Jahr 2000 ca. 30 % der PM10-Emissionen bzw. ca. 40 % der PM2.5-Emissionen (UBA, 2007). In Deutschland werden derzeit für das Bezugsjahr 2000 ca. 18 % der PM2.5-Emissionen den Kleinfeuerungsanlagen zugeschrieben. Für die Jahre 2010 und 2020 werden ebenfalls 18 % bei absolut sinkenden Emissionen abgeschätzt (Jörß et al., 2007).

Zusammenstellungen von PM10- sowie PM2.5-Emissionsanteilen an Gesamtstaub sind im **Anhang A3** aufgeführt. Diese Werte beziehen sich auf Angaben aus Pregger (2006), Ehrlich et. al (2007) und UBA (2008).

3.5.2.4 Landwirtschaft (Tierhaltung)

Das Umweltbundesamt (UBA, 2010) gibt für das Jahr 2007 den Anteil der Landwirtschaft an der jährlichen Emissionsmenge für PM10 (Ackerbau und Viehhaltung) mit 18 % und für PM2.5 (nur Ackerbau) mit 4 % an.

Bezüglich PM10 wird die Tierhaltung als größte Quelle innerhalb der Landwirtschaft gesehen. In EMEP/EEA (2009) wird abgeschätzt, dass die Tierhaltung zwischen 9 % und 35 % der gesamten Feinstaubemissionen (PM10) bezogen auf das EMEP-Gebiet erzeugt. Wiederum werden Geflügel- und Schweinezucht als Hauptverursacher für Feinstaubemissionen (PM10: ca. 85 - 90 %, PM2.5: ca. 80 % Anteil an Tierhaltung) in der Tierhaltung angesehen (EMEP, 2007 und 2009).

Faktoren die die Staubkonzentrationen hauptsächlich beeinflussen sind Tierart, Haltungsförm, Fütterung, Tierzahl und Stallklima (Cambra-Lopez, 2010).

Die größte Datenbasis für Emissionsfaktoren zur Abschätzung der durch die Tiere mechanisch erzeugten Feinstaubemissionen (PM10, PM2.5) aus der Tierhaltung liefert das EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme). Hier sind die umfassendsten Angaben zu verschiedenen Tierarten und eine Differenzierung für die häufigsten Haltungsformen (z.B. Festmist vs. Flüssigmist, Käfig vs. Voliere) gegeben. Die EMEP-Emissionsfaktoren (EEA/EMEP 2007, 2009) für PM10 und PM2.5 beziehen sich auf Untersuchungen von Schneider und Büscher (2006), Hinz (2005, 2007) und Hinz und Tamoschat-Depolt (2007). Die EMEP-Emissionsfaktoren wurden auch für die Berechnung der Feinstaubemissionen aus der deutschen Landwirtschaft (Bereich Tierhaltung) im aktuellen Nationalen Emissionsbericht (Haenel, 2010) herangezogen. Im Tabellenband des Nationalen Emissionsberichtes werden

darüber hinaus mittlere nationale (deutsche) bzw. mittlere länderspezifische (u.a. sächsische) Werte für PM10 - und PM2.5 - Emissionsfaktoren aufgeführt.

Weitere Angaben zu PM10-Emissionfaktoren sind z.B. im Entwurf der RL-VDI 3894 Blatt 1 (2009), der KTBL-Schrift 447 (KTBL, 2006) oder Veröffentlichungen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG, 2007 und 2008) zu finden. Zu den Untersuchungen die neben PM10 auch PM2.5 berücksichtigen zählt neben EMEP (EEA/EMEP, 2009) v.a. Pregger (2006). Es sind dort nur mittlere Emissionsfaktoren für eine bestimmte Tierart angegeben, ohne weitere Unterscheidung nach Haltungsformen o.ä. Pregger bezieht sich hierbei auf Untersuchungen von Takai et al. (1998) und Brandl et al. (2000).

Eine Gesamtübersicht zu den tierplatzbezogenen PM10- und PM2.5-Emissionfaktoren liefert die **Tab. A4.1** im Anhang A4. Zusätzlich sind in **Tab. 3.14** die Anteile von Feinstaub (PM10, PM2.5) an Gesamtstaub verschiedener Studien zusammengefasst. Anhand der PM2.5-Anteile der **Tab. 3.14** wurden für einige Untersuchungen zusätzlich PM2.5-Emissionsfaktoren aus den PM10-Faktoren abgeleitet (in **Tab. A4.1** hellgrün hinterlegt).

	Gesamtstaub	PM10	PM2.5
Schweine	100	31 - 45	8 - 12
Geflügel	100	15 - 46	20
Masthühner	100	40 - 58	9
Legehennen	100	30 - 60	3
Rinder	100	30 - 64	10
Schafe	100	40	12
Pferde	100	40	12
Enten/Gänse	100	58	9
Truthühner/Puten	100	25 - 58	9
alle Tiere	100	45	8 - 10

Tab. 3.14: Zusammenfassende Übersicht der Anteile [in %] von PM10 und PM2.5 am Gesamtstaub. Quellen: Pregger (2006), KTBL (2006), Klimont et. al (2002)

Die Spannbreiten der recherchierten PM2.5-Emissionsfaktoren sind in **Tab. A4.1** in Spalte 18 angegeben. Eine Vergleichbarkeit der recherchierten PM2.5-Emissionsfaktoren untereinander ist hauptsächlich für die mittleren Emissionsfaktoren möglich. Der Faktor zwischen Minimum und Maximum der Spannweite der zusammengestellten PM2.5-Werte liegt zwischen 1.5 und 8. Eine Ausnahme bilden die PM2.5-Emissionsfaktoren für Milchkühe (Flüsigmist) mit Faktor 20.

3.6 Maschinen und Geräte in Land- und Bauwirtschaft

Beim Betrieb von Maschinen in der Land- und Bauwirtschaft entstehen neben den Auspuffemissionen auch Partikelemissionen durch Abrieb an Reifen-, Bremsen- und Straßenbelag sowie durch Aufwirbelung von Staub (Baustellen, Ackerflächen, Straßen). Zusätzlich entstehen Partikelemissionen auf dem Gelände eines landwirtschaftlichen Betriebes bei Prozessen wie Abladen, Reinigen und Trocknen.

Emissionsfaktoren für diese Prozesse wurden für das Emissionskataster Sachsen bereits 2004 (siehe IFEU, 2004) abgeleitet. Methodik und Datengrundlage zur Ableitung dieser Emissionsfaktoren werden in diesem Arbeitsbericht mit Fokus auf PM_{2.5} aktualisiert. Zusätzlich wird das Verhältnis von PM_{2.5} zu PM₁₀ näher betrachtet, da bei einigen Partikelquellen (z. B. Reifenabrieb) nur Werte für die verursachten PM₁₀-Emissionen vorliegen.

Die Emissionsfaktoren wurden entsprechend der bisher für das sächsische Emissionskataster verwendeten Aktivitätsraten (z. B. Baustellenanzahl, genutzte landwirtschaftliche Flächen) abgeleitet und ermöglichen damit eine Bilanzierung der Gesamtemissionen. Im Einzelnen werden Faktoren für nichtauspuffbedingte PM₁₀- und PM_{2.5}-Emissionen bei

- Fahrten zum Feld (Straßen und Feldwege),
- Arbeit auf dem Feld (Bodenbearbeitung und Ernte) und dem landwirtschaftlichen Betrieb (Trocknen, Reinigen und Abladen von Getreide) und
- Arbeit auf Baustellen

abgeleitet. Andere Quellen von Partikelemissionen in der Landwirtschaft, wie Tierhaltung, Abgasemissionen der Maschinen oder Bodenerosion, werden hier ausdrücklich nicht berücksichtigt.

Auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche werden neue Ansätze und Datengrundlagen dargestellt und die für das Emissionskataster in (IFEU, 2004) vorgeschlagenen Emissionsfaktoren gegebenenfalls angepasst. Diese Arbeiten wurden durch das Institut für Energie und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) durchgeführt.

Wichtige Änderungen zum Bericht aus 2004

Deutliche Änderungen ergeben sich im Bereich Landwirtschaft vor allem bei den Partikelemissionen durch Aufwirbelung auf unbefestigten Feldwegen und für die Feldarbeit. So liegt der aktualisierte PM₁₀-Emissionsfaktor für die Nutzung unbefestigter Feldwege nun etwa

4-mal höher als 2004 abgeschätzt. Aufgrund des gegenüber der 2004er-Studie geringeren PM_{2.5}/PM₁₀-Verhältnisses liegt der PM_{2.5}-Emissionsfaktor jedoch nur etwa 50 % höher als bisher ermittelt.

Auch der für Feldarbeiten ermittelte Emissionsfaktor für PM₁₀ liegt nun etwas höher. Dies ist vor allem durch die Berücksichtigung weiterer Prozesse begründet. Wegen des geringeren PM_{2.5}/PM₁₀-Verhältnisses liegt hier der PM_{2.5}-Emissionsfaktor unter dem 2004 abgeleiteten Wert.

In der Bauwirtschaft wurden für den Bau von Straßen und Nichtwohngebäuden höhere PM₁₀-Emissionsfaktoren abgeleitet als bisher. Auch hier liegen die PM_{2.5}-Emissionsfaktoren jedoch unter den bisher ermittelten Werten, da auf Basis neuer Erkenntnisse ein geringerer Anteil von PM_{2.5} an PM₁₀ angesetzt wurde.

Unsicherheiten

Messtechnisch und methodisch bleibt die präzise Ermittlung diffuser Staubemissionen schwierig. Durch die Aktualisierung konnten die Emissionsfaktoren aber auf eine breitere Grundlage gestellt werden als bisher. Mit der Darstellung der landwirtschaftlichen Feldarbeit in [EMEP/EEA 2009] liegen nun für Europa einheitliche Emissionsfaktoren vor. Die abgeleiteten Faktoren beinhalten jedoch zahlreiche Annahmen und basieren auf Werten aus wenigen Feldmessungen.

Es verbleiben also Unsicherheiten, in der Größenordnung wurden die bisher abgeleiteten Emissionsfaktoren jedoch bestätigt. Darüber hinaus müssen in der Anwendung aber auch zusätzliche vereinfachende Annahmen gemacht werden, deren Unsicherheiten oft mit den Unsicherheiten bei den Emissionsfaktoren selbst vergleichbar sind. So konnten die Emissionsfaktoren für die betrachteten Bereiche in einigen Fällen - wie z. B. beim Verkehr auf unbefestigten Feldwegen - nur über Analogieschlüsse aus anderen Bereichen ermittelt werden.

In anderen Bereichen, wie z. B. der Bauwirtschaft hängen die Gesamtemissionen wiederum entscheidend von zusätzlichen Annahmen zur durchschnittlichen Baustellenfläche und zur durchschnittlichen Baudauer ab. Letztere kann insbesondere im Straßenbau kaum konsistent angegeben werden. Die Bedeutung des Straßenneubaus nimmt jedoch immer weiter ab, so dass diese Unsicherheit in der Gesamtbilanz nur noch wenig ins Gewicht fällt.

So können die dargestellten Emissionsfaktoren trotz der beschriebenen Unsicherheiten helfen, die mengenmäßige Bedeutung des Beitrags der Land- und Bauwirtschaft zu den Gesamtemissionen einzuordnen.

Der komplette Bericht inklusive der abgeleiteten PM_{2.5}-Emissionsfaktoren findet sich im **Anhang A5**.

3.7 PM_{2.5}-Emissionen BRD und Trendentwicklung vom Jahr 2000 bis 2020

Jörß et al. (2007) stellten die Ergebnisse des UFOPLAN-Projektes 204 42 202/2 zur Emissions- und Maßnahmenanalyse Feinstaub der Jahre 2000 bis 2020 zusammen. Darin wurden alle bis zum 31.12.2005 beschlossenen umweltpolitischen Maßnahmen berücksichtigt. Die bedeutendsten der berücksichtigten Maßnahmen sind:

Stationäre Feuerungen und Industrieprozesse

- 13. BImSchV (Großfeuerungsanlagen-Verordnung), in der auch alle Novellen der EU-Großfeuerungsanlagen-Richtlinie umgesetzt sind;
- 17. BImSchV (Verordnung über die Verbrennung von Abfällen);
- 1. BImSchV (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen);
- 3. BImSchV (Verordnung über den Schwefelgehalt flüssiger Kraft- und Brennstoffe), in der auch die Richtlinie 1999/32/EG umgesetzt wird; sowie
- TA Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft), in der u. a. Emissionsgrenzwerte für genehmigungsbedürftigen Anlagen festgelegt sind und die einen Teil der Umsetzung der IVU-Richtlinie 96/61/EG darstellt;

Mobile Quellen:

- Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO), in der die technischen Anforderungen für die Zulassung von Kraftfahrzeugen in Deutschland festgelegt sind. Durch die StVZO wird auch die Gesetzgebung der Europäischen Union zur Verminderung von Schadstoffen aus Kfz-Abgasen in nationales Recht umgesetzt, z. B. bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen: Richtlinien 91/441/EWG und 93/59/EWG (Euro 1), 94/12/EG und 96/69/EG (Euro 2) sowie 98/69/EG (Euro 3, Euro 4);

- Schwere Nutzfahrzeuge und Busse: Richtlinien 91/542/EWG (Euro 1, Euro 2) und 1999/96/EG (Euro 3 - Euro 5),
- Motorisierte Zweiräder: Richtlinien 97/24/EG (Euro 1 und Euro 2 bei Kleinkrafträdern, Euro 1 bei Krafträdern), 2002/51/EG (Euro 2, Euro 3 bei Krafträdern),
- Land- und forstwirtschaftliche Zugmaschinen: Richtlinie 2000/25/EG;
- Kraftfahrzeugsteuergesetz (KraftStG), in dem die Besteuerung von Pkw und Lkw in Abhängigkeit u. a. von der Grenzwertstufe festgelegt ist, womit im Pkw-Sektor eine gewisse Lenkungswirkung zur vorzeitigen Einführung neuer Grenzwertstufen ausgeübt wird;
- 28. BImSchV, (Verordnung über Emissionsgrenzwerte für Verbrennungsmotoren), in der die Gesetzgebung der Europäischen Union zur Verminderung von Schadstoffen aus Abgasen mobiler Maschinen und Geräte sowie dieselbetriebener Lokomotiven und Triebwagen umgesetzt wird, z. B. für neue Dieselmotoren: Richtlinien 97/68/EG, 2004/26/EG und
- für neue Ottomotoren >18kW: Richtlinie 2002/88/EG;
- 3. BImSchV (Verordnung über den Schwefelgehalt flüssiger Kraft- und Brennstoffe), in der auch die Richtlinie 1999/32/EG umgesetzt wird;
- 10. BImSchV (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen), in der auch die Richtlinie 2003/17/EG umgesetzt wird;

Nicht berücksichtigt: LKW-Maut:

- seit 01.01.2005 gilt in Deutschland auf Bundesautobahnen eine Maut für Lkw >12 t. Grundlage dafür ist das Gesetz über die Erhebung von streckenbezogenen Gebühren für die Benutzung von Bundesautobahnen mit schweren Nutzfahrzeugen (ABMG) aus dem Jahr 2002. Zum Abschluss der Referenzprognose waren noch keine verlässlichen Aussagen zur Wirkung der Maut auf Bestände und Fahrleistungen von Lkw im Straßengüterverkehr möglich. Daher ist diese Maßnahme in der Referenzprognose nicht berücksichtigt.

Nicht berücksichtigt: Richtlinie 2005/69/EG:

- Mit der EU-Richtlinie 2005/69/EG soll sich ab 2010 die Zusammensetzung von Fahrzeugreifen hinsichtlich der Weichmacheranteile ändern. Dies dürfte auch Einfluss auf die Abriebemissionen des Straßenverkehrs haben. Da aber in der Emissionsmodellierung des

UBA für die Abriebemissionen mangels besserer Wissensbasis ohnehin mit den zeitlich konstanten Default-Emissionsfaktoren des CORINAIR-Guidebook gerechnet wird, konnte die Richtlinie 2005/69/EG nicht berücksichtigt werden.

Die folgende **Tab. 3.15** listet die entsprechenden PM_{2.5}-Emissionen für die Referenzszenarien auf. Es ist zu erkennen, dass die wesentlichen emissionsverursachenden Quellgruppen bei PM₁₀ in der BRD im Jahr 2000 der Straßenverkehr, die Kleinf Feuerungsanlagen, die mobilen Maschinen, die Großfeuerungsanlagen und die Eisen- und Stahlindustrie sind. Bis zum Jahr 2020 reduzieren sich die PM_{2.5}-Emissionen um 40 %. Die größten Beiträge zur Minderung liefern der Straßenverkehr und die mobilen Maschinen sowie die Kleinf Feuerungsanlagen.

PM _{2,5} - Emissionen in Deutschland [kt]						
NFR	Quellgruppe	2000	2005	2010	2015	2020
1 A	Verbrennung von Brennstoffen	82,97	70,68	48,46	39,23	34,73
1 A 1	Energieindustrie	10,36	10,33	8,62	8,39	8,84
1 A 2	Produzierendes Gewerbe	1,88	1,73	1,78	1,64	1,63
1 A 3	Transport	35,54	25,38	14,39	8,55	6,30
1 A 4	Andere Sektoren (Haushalte + Kleinverbrauch)	34,90	32,96	23,41	20,38	17,69
1 A 5	Andere: Militär	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26
1 B	Flüchtige Brennstoffemissionen	0,47	0,43	0,37	0,35	0,34
1 B 1	Feste Brennstoffe	0,47	0,43	0,37	0,35	0,34
2	Industrieprozesse	17,47	15,80	13,52	13,00	12,48
2 A	Mineralstoffindustrie	5,61	4,43	4,30	4,30	4,28
2 B	Chemische Industrie	0,34	0,30	0,29	0,29	0,29
2 C	Metallproduktion	10,34	9,92	7,85	7,34	6,83
2 D	Andere Industrieprozesse	1,19	1,15	1,07	1,07	1,08
4	Landwirtschaft*	4,77	4,65	4,39	4,39	4,39
4 B	Tierhaltung (Wirtschaftsdünger-Management)*	4,77	4,65	4,39	4,39	4,39
4 D	Bewirtschaftung von Ackerland*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Abfallwirtschaft	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
6 C	Müllverbrennung: Krematorien	0	0	0	0	0
7	Sonstiges	30,45	29,57	28,91	29,29	29,59
7 A	Schüttgutumschlag	6,14	4,84	4,58	4,58	4,58
7 B	Straßenverkehr - Abrieb	10,15	10,59	11,18	11,67	12,08
7 C	Sonstiges	14,16	14,15	13,14	13,04	12,94
	Summe	136,13	121,13	95,64	86,26	81,53
	Thematische Strategie Baseline (CLE)	171,35	146,93	126,75	115,03	110,61
	Überschreitung (+) / Unterschreitung (-) von CLE	-35,22	-25,80	-31,11	-28,77	-29,07
	Thematische Strategie Szenario (TSZ)					90,00
	Deckungslücke (+) / Übererfüllung (-) TSZ 2020					-8,47

* Die landwirtschaftlichen Emissionen 2015 - 2020 stellen eine provisorische konstante Fortschreibung der für 2010 prognostizierten Emissionen dar.

Tab. 3.15: Referenzszenarios für die PM_{2.5}-Emissionen in der BRD nach Jörß et al. (2007)

Das o. g. Projekt setzt sich auch mit der Wirkung zusätzlicher Emissionsminderungsmaßnahmen auseinander. Die entsprechenden Minderungspotenziale sind in der **Tab. 3.16** aufgeführt.

Zusätzliche Minderungspotenziale* zur Minderung der PM_{2,5}-Emissionen [kt]				
Sektor	Maßnahme	2010	2015	2020
Großfeuerungsanlagen: Kohlefeuerung	Filterertüchtigung: 10 mg/m ³ Tagesmittel	0	-3,35	-3,60
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	Korrektur der Aktivitätsrate des Energierferenzszenarios	7,30	9,90	12,30
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	Novelle 1.BImSchV + Förderung Pelletkessel (unkorrigierte AR)	-1,50	-3,00	-4,10
Kleinfeuerungsanlagen: Holzfeuerung in Haushalten	Kombinierte Wirkung: korrigierte AR und Novelle 1.BImSchV sowie Förderung Pelletkessel	5,10	4,90	4,60
Kleinfeuerungsanlagen: Heizöl, leicht	Verstärkte Einführung von schwefelarmem Heizöl	-0,08	-0,14	-0,19
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	Einführung einer Grenzwertstufe Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge	-0,06	-1,18	-1,76
Straßenverkehr Lkw (Abgasemissionen)	Bestehende Lkw-Maut sowie Anpassung an neue EU-Regelungen	-0,18	-0,20	-0,14
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	Kombinierte Wirkung: Einführung von Euro VI + Anpassung der Lkw-Maut	-0,25	-1,36	-1,83
Straßenverkehr Lkw (Abgasemissionen)	Förderung der Nachrüstung von Partikelfiltern bei Lkw	-0,18	-0,05	-0,01
Straßenverkehr Lkw / Bus (Abgasemissionen)	Kombinierte Wirkung: Einführung von Euro VI + Anpassung der Lkw-Maut + Förderung Partikelfilternachschrüstung	-0,42	-1,41	-1,84
Straßenverkehr Lkw (Abtrieb)	Bestehende Lkw-Maut sowie Anpassung an neue EU-Regelungen	0	-0,16	-0,16
Straßenverkehr Pkw+LNF (Abgasemissionen)	Einführung von Grenzwertstufen Euro 5 und Euro 6 für Pkw und Leichte Nutzfahrzeuge	-0,19	-0,77	-1,12
Straßenverkehr Pkw (Abgasemissionen)	Förderung der Nachrüstung von Partikelfiltern bei Diesel-Pkw	-0,07	-0,03	-0,01
Straßenverkehr Pkw (Abgasemissionen)	Stufenweise Angleichung der Mineralölsteuer von Diesel an Otto- Kraftstoff	-0,08	-0,08	-0,06
Straßenverkehr Pkw+LNF (Abgasemissionen)	Summe der Maßnahmen bei Pkw und Leichten Nutzfahrzeugen	-0,34	-0,88	-1,18
Straßenverkehr Pkw (Abtrieb)	Stufenweise Angleichung der Mineralölsteuer von Diesel an Otto- Kraftstoff	-0,06	-0,15	-0,16
Mobile Maschinen	Fortschreibung der Abgasgesetzgebung für Dieselmotoren >18 kW in Mobilien Maschinen	0	0	-0,01
Schienenverkehr	Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung für Diesellokomotiven	0	0	-0,04
Schienenverkehr	Differenzierung der Trassenpreise im Schienenverkehr nach Emissionsstandard	0	0	-0,03
Binnenschifffahrt	Weiterentwicklung der bestehenden Grenzwertgesetzgebung in der Binnenschifffahrt	0	-0,03	-0,12
	Summe / Kombination aller Maßnahmen	4,19	-1,20	-2,72
* Negative Vorzeichen der Minderungspotenziale bedeuten in dieser Tabelle Emissionsminderungen gegenüber dem Referenzszenario, während positive Vorzeichen auf eine gegenüber dem Referenzszenario erhöhte Emission weisen.				

Tab. 3.16: Zusätzliche Minderungspotenziale zur Minderung der PM_{2.5}-Emissionen nach Jörß et al. (2007)

Wesentliche Maßnahmen sind:

- Verschärfung des Emissionsgrenzwertes auf 10 mg/m^3 für Großfeuerungsanlagen ab 2015.
- Novellierung der 1. BImSchV mit Senkung der Staubgrenzwerte sowie einer Senkung der Leistungsgrenze für den Geltungsrahmen dieser Grenzwerte bei Holzfeuerungsanlagen. Allerdings ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass gegenüber dem o. g. Referenzszenario mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer Zunahme der Verwendung von Holz als Energieträger in Haushalten ausgegangen werden muss. Dies führt dazu, dass bezogen auf das o. g. Referenzszenario 2020 von einer Erhöhung der PM_{2.5}-Emissionen dieser Quellgruppe um ca. 5 kT ausgegangen werden muss.
- Die Förderung schwefelarmen Heizöls könnte bei angenommener Verdopplung des Marktanteiles im Jahr 2020 zu einer Minderung um 0.2 kT führen.
- Die Wirkung der Einführung von Schwerverkehr-EUROVI, LKW-Maut und Partikelfiltern nachrüstung wird mit 1.8 kT im Jahr 2020 angegeben.
- Maßnahmen bei PKW und LNF (Einführung EURO5 und 6, Nachrüstung Partikelfilter, Angleichung Dieselsteuer an Benzin etc.) hat ein Minderungspotenzial von ebenfalls 1.8 kT im Jahr 2020.

4 ABSCHÄTZUNG VON VERKEHRSBEDINGTEN PM2.5-EMISSIONSFAKTOREN AN SÄCHSISCHEN MESSSTATIONEN

Diese Arbeiten werden durchgeführt, wenn die Systematisierungen des neuen Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA3.1) für das FIS zur Verfügung stehen.

5 VORSCHLAG ZUR BESTIMMUNG DER SÄCHSISCHEN PM2.5-EMISSIONEN

5.1 Verkehrsbedingte PM2.5-Emissionen

5.1.1 Straßenverkehr

Motorbedingte Emissionen

Die Berechnung der Straßenverkehrsemissionen erfolgt für Sachsen am LfULG im Emissionskataster. Darin sind derzeit die Emissionsfaktoren des HBEFA2.1 implementiert. Das Emissionskataster wurde zum Jahresbeginn 2010 durch das „Fachinformationssystem Umwelt und Verkehr“ (FIS) ersetzt. Im FIS sind prinzipiell die selben Berechnungsmodule wie im Emissionskataster - jedoch mit einer Vielzahl neuer Funktionen und Auswertoptionen - enthalten. So sind im FIS - im Gegensatz zum Emissionskataster - auch Prognoserechnungen standardmäßig möglich. Bezüglich der Eingangsdaten wurde mit der Einführung einer neuen Methodik zur Verkehrsmengenberechnung eine wesentliche Änderung vorgenommen⁴. Dadurch sind die Ergebnisse der beiden Systeme, selbst bei gleicher HBEFA-Version, nicht identisch.

Die Emissionsberechnung im FIS erfolgt derzeit weiterhin auf der Basis des HBEFA2.1, da das Projekt zur Einarbeitung des HBEFA3.1, wie in 3.2.1 bereits beschrieben, voraussichtlich erst im März 2011 abgeschlossen wird. In Abstimmung mit dem Auftraggeber erfolgte aus diesem Grunde die Emissionsberechnung für die vereinbarten Prognosehorizonte 2015 und 2020 im FIS vorerst auf der Grundlage der motorbedingten Emissionsfaktoren des HBEFA2.1. Das Ergebnis dieser Berechnungen entspricht jedoch nicht dem Stand der Technik, da sich das Niveau der motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren in HBEFA3.1 deutlich erhöht hat. Deshalb wird vorgeschlagen, die drei Szenarien 2008, 2010 und 2020 nach erfolgter Implementierung des HBEFA3.1 in das FIS neu zu berechnen, da die Ergebnisse nur so vergleichbar sind. Zur Übertragung der vorhandenen HBEFA2.1-Verkehrssituationen auf die Emissionsfaktoren des HBEFA3.1 wird die in **Tab. 3.3** dargestellte Zuordnung empfohlen.

⁴ FIS „Umwelt und Verkehr“/LfULG/Zwischenbericht zum Eigenforschungsprojekt Illgen/Schmidt 2006

Nicht motorbedingte Emissionen

Zur Berechnung nicht motorbedingte PM2.5-Emission des Straßenverkehrs wurde der Ansatz aus CORINAIR (2007) entsprechend **Tab. 3.6** im FIS integriert. Der Geschwindigkeitseinfluss wurde dazu auf die Verkehrssituationen des HBEFA2.1 entsprechend den **Abb. 3.12** und **Abb. 3.13** übertragen.

Für die Neuberechnung der Szenarien unter Verwendung der HBEFA3.1 Emissionsfaktoren wird eine analoge Übertragung der CORINAIR-Faktoren auf die HBEFA3.1 Verkehrssituationen auf der Basis der durchschnittlichen Reisegeschwindigkeiten empfohlen.

5.1.2 Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr

Motorbedingte Emissionen

Die motorbedingten PM2.5-Emissionen entsprechen denen der PM10-Partikelfraktion und können deshalb aus den PM10-Berechnungen übernommen werden.

Nicht motorbedingte Emissionen

Es wird mangels Alternativen vorgeschlagen, die Umrechnungsfaktoren aus den **Tab. 3.11** und **Tab. 3.12** zu verwenden.

5.1.3 Landwirtschaftlicher Verkehr

Motorbedingte Emissionen

Die motorbedingten PM2.5-Emissionen entsprechen denen der PM10-Partikelfraktion und können deshalb aus den PM10-Berechnungen übernommen werden.

Nicht motorbedingte Emissionen auf befestigten und unbefestigten Straßen bzw. Wegen

Siehe hierzu zur Erläuterung die Ausführungen im Abschnitt 3.2.2 (befestigte Straßen) sowie im Teilbericht von IFEU im **Anhang A5** (unbefestigte Wege).

Emission in [mg/km]	PM2.5	Quelle
Reifenabrieb	26	[CORINAIR, 2007]
Bremsabrieb	29	[CORINAIR, 2007]
Straßenabrieb	30	[CORINAIR, 2007]
Summe	85	

Tab. 5.1: Auswahl der Emissionsfaktoren für Verkehr auf befestigten Straßen ([mg/km])

Quelle	PM10 in [g/km]	PM2.5 in [g/km]	Verhältnis PM2.5/PM10
[IFEU, 2004]	105	27.7	0.27
[EPA, 2006] SNF	412	41.2	0.1
[EPA, 2006] LNF	77	7.7	0.1
IFEU 2009	412	41.2	0.1

Tab. 5.2: Auswahl der Emissionsfaktoren für Nutzung unbefestigter Feldwege ([g/km])

5.2 Landwirtschaft

5.2.1 Feldarbeit und Nachbereitung der Ernte

Für die Feldbearbeitung können nun gegenüber 2004 differenziertere Emissionsfaktoren berücksichtigt werden. So werden vier Getreidearten unterschieden und zusätzlich Prozesse der Nachbearbeitung erfasst. Die Emissionsfaktoren liegen sowohl für PM10 als auch für PM2.5 in der derselben Größenordnung wie in [IFEU, 2004].

	IFEU 2004	IFEU 2009	IFEU 2009	IFEU 2009	Anmerkung
	2*Bo + Er	2*Bo + Er	Gesamt	Gesamt Ø	
Weizen	1,36	0.99	1.74	1.67	
Roggen		0.87	1.4		
Gerste		0.91	1.5		
Hafer		1.12	2.03		
Andere Feldfrucht		-	0.25		nur Bo
Gras		-	0.5		nur Bo + Er
Er = Ernte, Bo = Bodenbearbeitung, Tr =Trocknen, Re = Reinigen Gesamt = Summe aus Er, Bo, Tr und Re					

Tab. 5.3: Zusammenfassung PM10-Emissionsfaktoren für Feldarbeit ([kg PM10/ha])

	IFEU 2004	IFEU 2009	IFEU 2009	IFEU 2009	Anmerkung
	2*Bo + Er	2*Bo + Er	Gesamt	Gesamt Ø	
Weizen		0.05	0.227		
Roggen	0,30	0.045	0.164	0.21	
Gerste		0.046	0.183		
Hafer		0.055	0.265		
Andere Feldfrucht			0.015		nur Bo
Gras			0.025		nur Bo + 1*Er
Er = Ernte, Bo = Bodenbearbeitung, Tr =Trocknen, Re = Reinigen Gesamt = Summe aus Er, Bo, Tr und Re					

Tab. 5.4: Zusammenfassung PM2.5-Emissionsfaktoren für Feldarbeit ([kg PM2.5/ha])

Zur Berechnung der Gesamtemissionen in der Landwirtschaft müssen folgende Aktivitäts- bzw. Flächendaten vorliegen:

- Von landwirtschaftlichen Fahrzeugen zurückgelegte Kilometer sowohl auf Straßen als auch auf unbefestigten Feldwegen
- Die landwirtschaftlich genutzte Fläche, möglichst differenziert nach Getreidearten bzw. dort angebaute Feldfrucht

Die Daten zur landwirtschaftlichen Nutzfläche, differenziert nach Kultur- und Fruchtarten kann aus den Daten des Statistischen Landesamtes (STALA, 2009a) entnommen werden. Zur Abschätzung der von landwirtschaftlichen Fahrzeugen zurückgelegten Kilometer auf Hektar-Basis kann auf die Annahmen in [IFEU, 2004] zurückgegriffen werden. Basierend auf [LFULG, 2004] beträgt die pro Hektar und Arbeitsgang zurückzulegende Entfernung 0.17 km, wobei 12.5 Arbeitsgänge pro Jahr angesetzt werden. Darunter befinden sich dann auch Arbeitsgänge die keine Feldarbeit im Sinne der oben berücksichtigten Prozesse darstellen (Düngung, Pestizidausbringung, etc.). Aufgrund fehlender Daten wird angenommen, dass die Wegstrecke zur einen Hälfte auf befestigten Straßen und zur anderen Hälfte auf unbefestigten Feldwegen zurückgelegt wird. Beispielrechnungen sind im Anhang 4 zu finden.

•

5.2.2 Tierhaltung

Wegen der umfangreicheren und detaillierteren Datenlage schlagen wir vor, die Werte aus EMEP (EEA/EMEP, 2009) bzw. dem Nationalen Emissionsbericht (Haenel, 2010) zu übernehmen. Darin nicht vorhandene Faktoren für Schafe und Legehennen (Bodenhaltung/Kotbunker) werden aus den jeweiligen Studien ergänzt (**Tab. A4.1** im Anhang A4). Die empfohlenen EMEP-Emissionsfaktoren repräsentieren überwiegend die maximalen ermittelten Werte (Rinder, Ferkel, Mastschweine, Legehennen). Nur bei den mittleren Emissionsfaktoren für Schweine, Geflügel, Puten/Truthühner, Enten/Gänse stellen die Empfehlungswerte den unteren Spannbreitenwert dar. Von Vorteil ist darüber hinaus, dass mit den empfohlenen Emissionsfaktoren ein Inventar entsteht, welches national vergleichbar ist. Aus diesem Grund wurde bei den mittleren Emissionsfaktoren den deutschen Durchschnittswerten der Vorzug gegenüber regionalen sächsischen Werten gegeben, zumal die Unterschiede eher marginal sind.

Voraussetzung zur Emissionsermittlung sind die Tierplatzzahlen (zur Produktion besetzte Tierplätze). Je nach Datenlage kann zur Emissionsabschätzung für die verschiedenen Tierhaltungen entweder der Tierarten-spezifische mittlere PM_{2.5}-Emissionsfaktor oder der differenzierte PM_{2.5}-Emissionsfaktor (z.B. bei Informationen zur Häufigkeitsverteilung von Gülle- und Festmistverfahren) verwendet werden.

5.3 Bautätigkeit

In der Bauwirtschaft werden Emissionen aus Arbeitsvorgängen im Hoch- und im Tiefbau betrachtet. Im Hochbau werden dabei unterschiedliche Gebäudetypen unterschieden, während im Tiefbau ausschließlich der Neubau von Straßen betrachtet wird. Es werden Emissionsfaktoren für die nicht-auspuffbedingten Partikelemissionen, die durch Abrieb und Aufwirbelungen beim Betrieb von Maschinen auf Baustellen entstehen, abgeleitet. Emissionen werden im Bauprozess vor allem durch Erdbewegungen und Befahren von nicht befestigten Flächen verursacht.

	[IFEU 2004]		IFEU 2009	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
Wohnhäuser	0.035	0.007	0.035	0.0035
Apartments	0.125	0.025	0.125	0.0125
Nichtwohngebäude	0.125	0.025	0.21	0.021
Straßenbau	0.27	0.054	0.47	0.047

Tab. 5.5: Auswahl Emissionsfaktoren in der Bauwirtschaft ([t/ha-Monat])

Es wird dabei die Methodik der U.S. EPA zur Erfassung der Emissionen beibehalten. Der Emissionsfaktor wird in t PM₁₀/ha Monat angegeben. Die Baudauer und die durch den Bau betroffene Fläche sind damit wichtige Parameter für die Berechnung der Gesamtemissionen.

Gegenüber 2004 hat sich der PM₁₀-Emissionsfaktor bei Nichtwohngebäuden und im Straßenbau deutlich erhöht. Im Straßenbau ist dies durch die Annahme begründet, dass für die Emissionen fast ausschließlich die schweren Erdbewegungen verantwortlich sind. Aufgrund der Absenkung des PM_{2.5}/PM₁₀-Verhältnisses auf 0.1 (nach [MRI, 2006]) sind die PM_{2.5}-Emissionsfaktoren dieser Bereiche jedoch niedriger als 2004 abgeleitet.

Die Berechnung der Gesamtemissionen erfolgt über die:

- Anzahl der neu errichteten Gebäude und deren durchschnittliche Grundfläche
- Länge der neuen Straßen und die Breite der dadurch beeinträchtigten Fläche
- Baudauer in Monaten für Gebäude und Straßen

Da zu diesen Parametern keine neuen Erkenntnisse vorliegen, wird vorgeschlagen die Werte aus [IFEU 2004] zu übernehmen. Da beim Hochbau deutlich mehr als nur die Gebäudegrundfläche betroffen ist, wird vorgeschlagen, die doppelte in **Tab. 5.6** angegebenen Fläche als durch die Baustelle beeinträchtigt anzusetzen.

	Grundfläche/Baustellenbreite	Baudauer
Einfamilienhäuser	100 m ²	15 Monate
Zweifamilienhäuser	120 m ²	18 Monate
Mehrfamilienhäuser	200 m ²	21 Monate
Wohnheime	400 m ²	24 Monate
Nichtwohngebäude	*	15 Monate
Straßenbau	7 m Bundesstraßen, 12 m Autobahnen**	1 Monat
* Über Gesamtfläche berechnet		
** Beeinträchtigte Breite		

Tab. 5.6: Annahmen zur Berechnung der Gesamtemissionen in der Bauwirtschaft

5.4 Industrie, Feuerungsanlagen

5.4.1 Genehmigungsbedürftige Anlagen/Industrie

Hier wird vorgeschlagen die Systematisierung von Pregger (2006) zu übernehmen. Er differenziert hierbei nach Anlagenart/-typ (ART) und Abgasreinigung (AGR) und weist diesen mittlere PM10- bzw. PM2.5-Anteile am Gesamtstaub zu (siehe folgende **Tab. 5.7**).

Die entsprechenden PM2.5-Anteile an Gesamtstaub finden sich für eine große Anzahl von Prozessen im **Anhang A1**. Für die im sächsischen Emissionskataster aufgeführten Prozesse können die entsprechenden Anteilsfaktoren übernommen werden.

ART-Nr.	AGR-Nr.	Anteil PM10	Anteil PM2.5	ART-Nr.	AGR-Nr.	Anteil PM10	Anteil PM2.5
1	1	0.43	0.30	1	4	0.94	0.80
2	1	0.91	0.77	2	4	1.00	0.97
3	1	0.99	0.99	3	4	0.99	0.99
4	1	0.52	0.40	6	4	0.94	0.77
5	1	0.99	0.95	7	4	0.97	0.83
6	1	0.60	0.40	8	4	0.92	0.75
7	1	0.90	0.56	9	4	0.92	0.84
8	1	0.44	0.20	10	4	0.85	0.52
9	1	0.70	0.54	11	4	0.85	0.52
10	1	0.20	0.02	12	4	0.85	0.52
11	1	0.31	0.20	1	5	0.94	0.85
12	1	0.18	0.15	2	5	0.94	0.90
1	2	0.73	0.49	4	5	0.94	0.86
2	2	0.95	0.80	6	5	0.94	0.77
4	2	0.84	0.64	7	5	0.94	0.77
6	2	0.74	0.52	8	5	0.92	0.75
7	2	0.92	0.60	9	5	0.94	0.66
8	2	0.50	0.23	10	5	0.96	0.68
9	2	0.80	0.60	12	5	0.96	0.68
10	2	0.34	0.09	1	6	0.94	0.75
11	2	0.49	0.19	2	6	0.97	0.85
12	2	0.34	0.09	3	6	0.99	0.99
1	3	0.90	0.53	4	6	0.97	0.86
2	3	0.97	0.85	5	6	0.99	0.95
4	3	0.94	0.69	6	6	0.80	0.70
5	3	0.99	0.95	7	6	0.92	0.60
6	3	0.83	0.50	8	6	0.61	0.26
7	3	0.89	0.59	9	6	0.85	0.64
8	3	0.84	0.60	10	6	0.66	0.29
9	3	0.91	0.51	11	6	0.66	0.29
10	3	0.53	0.15	12	6	0.66	0.29
11	3	0.87	0.29				
12	3	0.87	0.29				

AGR-Nr.	Bezeichnung	ART-Nr.	Bezeichnung
1	Keine	1	Feuerung mit festen Brennstoffen
2	Primäre Maßnahmen	2	Feuerung mit flüssigen Brennstoffen
3	Zyklone	3	Feuerung mit gasförmigen Brennstoffen
4	Gewebefilter	4	Feuerung mit gemischten Brennstoffen
5	Wäscher	5	Brennkraftmaschinen (Dieselmotoren)
6	Elektrofilter	6	Wärmebehandeln - Schmelzen, Warmhalten, Härten u. a.
7	Sonstige	7	Wärmebehandeln - Gießen, Walzen
		8	Wärmebehandeln - Glühen, Trocknen, Kalzinieren, Rösten u. a.
		9	Sonstige industrielle Prozesse
		10	Aufwirbelung (Fördern, Verladen und Abfüllen, Lagern)
		11	Abrieb (Schleifen, Strahlen u. a.)
		12	Sonstige mechanische Prozesse

Tab. 5.7: Feinstaubanteile der Emissionen aus genehmigungsbedürftigen Anlagen nach Verfahrensart/Anlagentyp (ART) und Abgasreinigung (AGR) (Abschätzungen basierend auf Literaturlauswertungen). Quelle: Pregger (2006)

5.4.2 Großfeuerungsanlagen

Die im **Anhang A2** aufgeführten PM2.5-Anteile bei untersuchten Großfeuerungsanlagen variieren je nach untersuchter Anlage und Einsatzstoff. Es werden folgende PM10 bzw. PM2.5-Anteile am Gesamtstaub vorgeschlagen, die sich im Wesentlichen an den Obergrenzen der angegebenen Bandbreiten bzw. bei Holz (wegen der höheren Anzahl vorliegender Messungen) am Mittelwert orientieren:

- Gaskraftwerke: 100 % (PM10) sowie 100 % (PM2.5)

- Braunkohlekraftwerke, Steinkohlekraftwerke, Ölkraftwerke und Abfallverbrennung: 95 % (PM10) sowie 80 % (PM2.5)
- Holzverbrennung: 95 % (PM10) sowie 70 % (PM2.5).

5.4.3 Kleinf Feuerungsanlagen

Die im **Anhang A3** aufgeführten PM2.5-Anteile bei untersuchten Kleinf Feuerungsanlagen variieren je nach untersuchter Anlage und Einsatzstoff. Es werden folgende PM10 bzw. PM2.5-Anteile am Gesamtstaub vorgeschlagen, die sich im wesentlichen an den Werten des UBA (2008) bzw. bei Holz (wegen der höheren Anzahl vorliegender Messungen) am Mittelwert orientieren:

- Gas- und Ölfeuerung: 100 % (PM10) sowie 100 % (PM2.5)
- Braunkohle, Steinkohle: 95 % (PM10) sowie 85 % (PM2.5)
- Holzfeuerung: 95 % (PM10) sowie 85 % (PM2.5)

6 PM2.5-IMMISSIONSKARTEN FÜR 2008, 2015 UND 2020

Die Berechnung der PM2.5-Immissionskarten erfolgt mittels des Programmsystems IMMIKART. Folgende Vorgehensweise wurde hierzu zunächst gewählt:

- Das LfULG stellte als notwendige Eingangsdaten die Messdatei „Messdatei08a.dat“ zur Verfügung. Dort sind u. a. die PM10-Jahresmittelwerte für die Messstationen in Sachsen und umliegende grenznahe Stationen für das Jahr 2008 enthalten. Diese PM10-Jahresmittelwerte wurden mit der Regressionsgleichung aus **Abb. 2.3** in PM2.5-Werte umgerechnet bzw. die entsprechenden in Sachsen gemessenen PM2.5-Jahresmittelwerte übernommen. Für die Prognosejahre 2015 und 2020 wurden diese PM2.5-Hintergrundwerte mittels Informationen aus deutschlandweiten PM2.5-Immissionsberechnungen für die Jahre 2000, 2010 und 2020 (Stern, 2006) reduziert. Diese Berechnungen zeigen für Sachsen und für deren grenznahen Bereiche Reduktionen der PM2.5-Jahresmittelwerte im regionalen und urbanen Hintergrund zwischen den Jahren 2010 und 2020 von 1 bis 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Für das Bezugsjahr 2015 wurden deshalb die PM2.5-Hintergrundwerte um 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und für das Jahr 2020 um 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ reduziert. Die **Tab. 6.1** stellt diese Werte zusammen.
- Die TU Dresden stellte aus dem FIS unter Anwendung der Vorgehensweise aus Abschnitt 5.1.1 die verkehrlichen PM2.5-Emissionsdaten für 2008 und 2020 zur Verfügung. Emissionsdaten für 2015 lagen noch nicht vor.
- Mit diesen Daten wurden dann die Berechnungen mit IMMIKART durchgeführt.

Die entsprechende PM2.5-Immissionskarte für 2008 ist in der **Abb. 6.1** und für 2020 in der **Abb. 6.2** dargestellt.

Im städtischen Hintergrund von Leipzig und Dresden werden 2008 PM2.5-Jahresmittelwerte zum Teil zwischen 16 und 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet. Sonst liegen die PM2.5-Jahresmittelwerte deutlich unter 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, im ländlichen Hintergrund zwischen 10 und 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Im städtischen Hintergrund von Leipzig und Dresden werden für 2020 PM2.5-Jahresmittelwerte zum Teil zwischen 14 und 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ prognostiziert. Sonst liegen die PM2.5-Jahresmittelwerte unter 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, im ländlichen Hintergrund bei weniger als 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nr.	Rechtsw. [m]	Hochw. [m]	H [m]	K	Bezugsjahr				Name der Station
					2008	2008	2015	2020	
					PM10-I1 [µg/m³]	PM2.5-I1 [µg/m³]	PM2.5-I1 [µg/m³]	PM2.5-I1 [µg/m³]	
1	4570760	5604360	545	6	-999	-999	-999	-999	Annaberg-Buchholz
2	4670970	5674020	203	3	20.9	13.6	12.6	11.6	Bautzen
3	4534700	5665730	145	6	24	15.4	14.4	13.4	Borna
4	4543530	5588620	896	3	11.9	8.5	7.5	6.5	Carlsfeld
5	4570510	5685900	313	1	15.6	10.6	9.6	8.6	Collnberg
6	4564720	5633430	300	5	18.8	12.4	11.4	10.4	Chemnitz-Mitte
7	4565650	5634970	296	4	21.8	14.0	13.0	12.0	Chemnitz-Nord
8	4523899	5710000	100	3	20.3	13.2	12.2	11.2	Delitzsch
9	4622170	5660320	112	4	33.2	16.0	15.0	14.0	Dresden-Nord
10	4621400	5658770	112	5	-999	-999	-999	-999	Dresden-Winckelmannstraße
11	4567850	5588490	1214	3	-999	-999	-999	-999	Fichtelberg
12	4594810	5643190	393	3	21.8	14.1	13.1	12.1	Freiberg
13	4538310	5632420	233	3	21.6	14.0	13.0	12.0	Glauchau
14	4708120	5673220	210	3	27.3	17.2	16.2	15.2	Görlitz
15	4656900	5702620	117	3	21.1	13.7	12.7	11.7	Hoyerswerda
16	4523250	5689070	115	6	31.1	19.4	18.4	17.4	Leipzig-Lützner Str.
17	4526550	5689980	110	7	33.7	17.0	16.0	15.0	Leipzig-Mitte
18	4520770	5687150	115	5	19.4	12.7	11.7	10.7	Leipzig-West
20	4509920	5594480	343	6	23	14.8	13.8	12.8	Plauen-Süd
21	4617350	5666310	246	1	21.4	13.9	12.9	11.9	Radebeul-Wahnsdorf
22	4603680	5614710	787	3	13.7	10.0	9.0	8.0	Schwartenberg
23	4623740	5623320	877	3	14.8	10.1	9.1	8.1	Zinnwald
24	4698308	5643450	230	3	21.8	14.1	13.1	12.1	Zittau-Ost
25	4534930	5620590	265	6	22.9	14.7	13.7	12.7	Zwickau-Werdauer Str.
26	4530840	5650370	185	3	22	14.2	13.2	12.2	Altenburg
27	4505360	5638050	190	3	29	18.2	17.2	16.2	Gera Berlinerstr
28	4505360	5638000	190	6	21	13.6	12.6	11.6	Gera Friedericistr
29	4514620	5613370	270	3	21	13.6	12.6	11.6	Greiz
33	4498880	5694680	100	3	-999	-999	-999	-999	Schkopau
36	4713800	5640480	535	1	22	14.2	13.2	12.2	Albrechtice u Frydl
37	4528580	5547670	488	2	12	8.5	7.5	6.5	Cheb
38	4656180	5628140	131	3	35	21.6	20.6	19.6	Decin
39	4612520	5617600	739	1	13	9.1	8.1	7.1	Flaje
40	4699230	5640170	250	2	18	11.9	10.9	9.9	Hradek nad Nisou
41	4561780	5567050	429	2	26	16.5	15.5	14.5	Karlovy Vary
42	4630550	5619150	533	1	25	15.9	14.9	13.9	Krupka
43	4580420	5588610	827	1	12	8.5	7.5	6.5	Medenec
44	4543920	5581880	905	1	12	8.5	7.5	6.5	Prebuz
45	4600620	5605860	840	1	12	8.5	7.5	6.5	Rudolice v Horach
46	4646640	5630300	588	1	19	12.5	11.5	10.5	Sneznik
47	4547970	5559790	476	2	14	9.7	8.7	7.7	Sokolov
48	4575280	5578710	323	2	34	21.1	20.1	19.1	Straz nad Ohri
49	4675860	5651280	438	1	23	14.8	13.8	12.8	Valdek
51	4691926	5686984	148	1	19.4	12.7	11.7	10.7	Niesky
52	4509446	5594547	210	5	18.9	12.4	11.4	10.4	Plauen HG

Tab. 6.1: In den Immissionsberechnungen mit IMMIKART verwendete PM2.5-Jahresmittelwerte für die Bezugsjahre 2008, 2015 und 2020

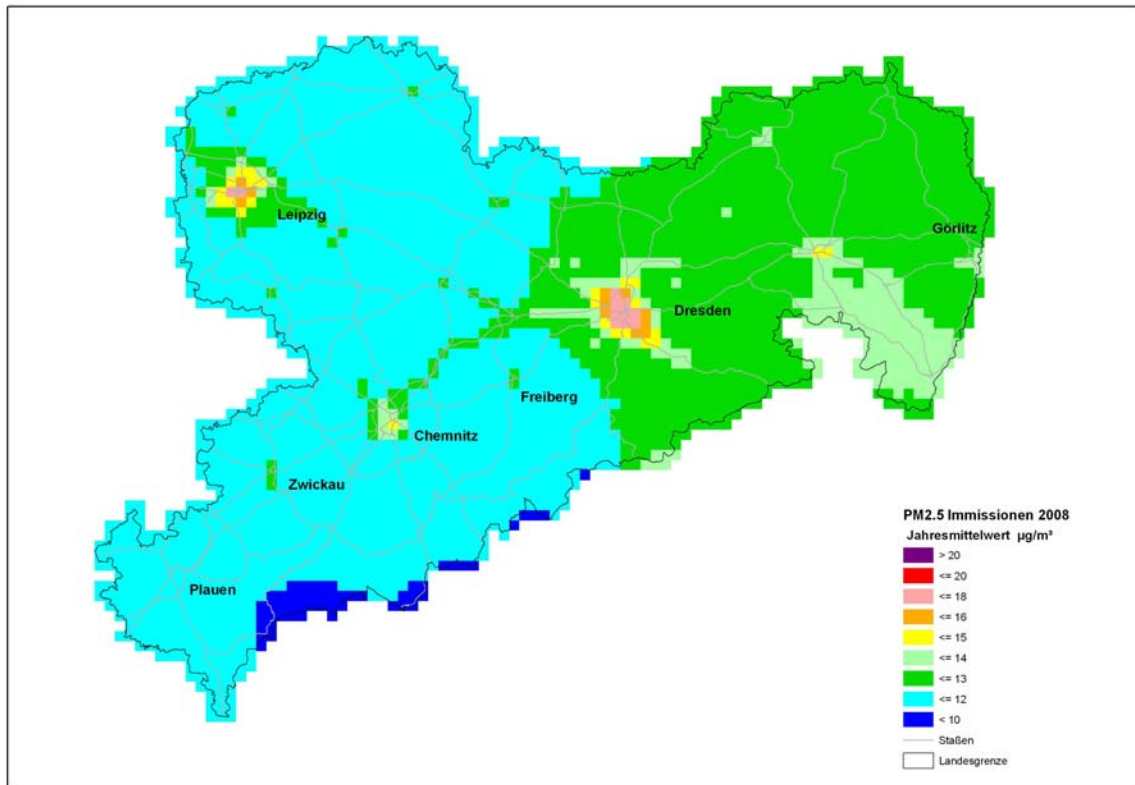


Abb. 6.1: PM2.5-Jahresmittelwerte in Sachsen für das Bezugsjahr 2008

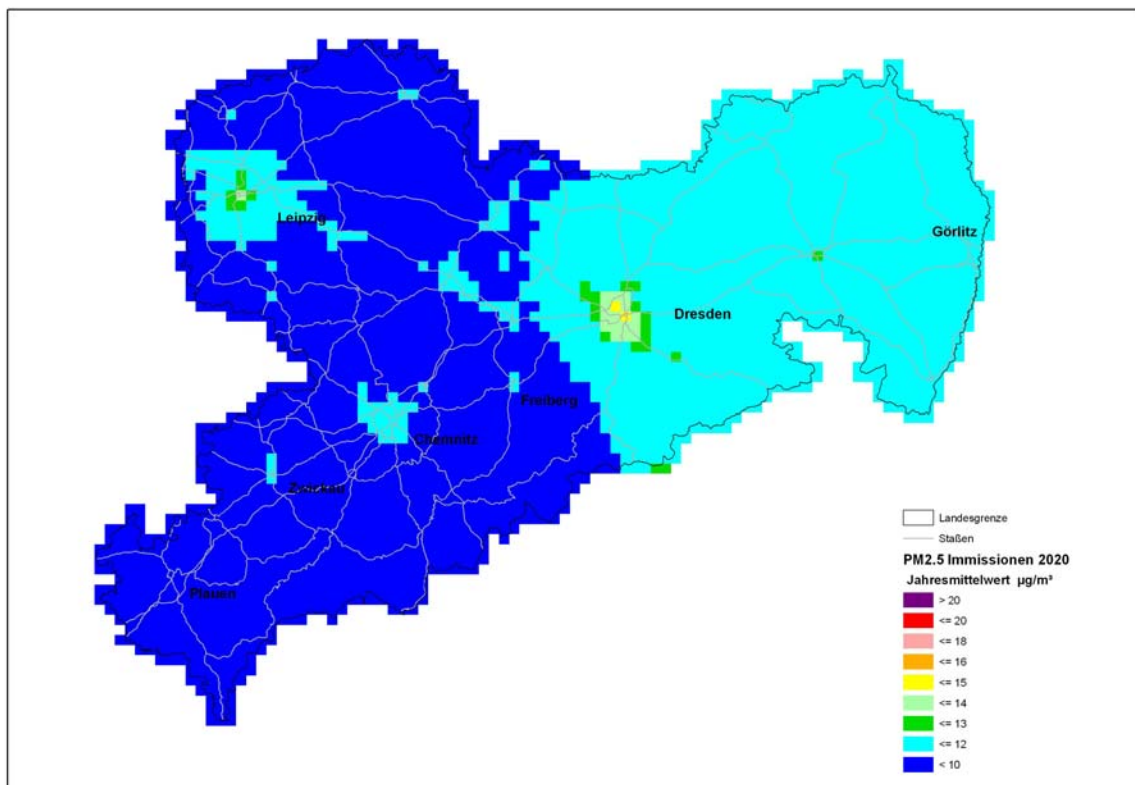


Abb. 6.2: PM2.5-Jahresmittelwerte in Sachsen für das Bezugsjahr 2020

7 SCHLUSSFOLGERUNGEN FÜR MAßNAHMEN ZUR MINDERUNG DER PM2.5-BELASTUNGEN

7.1 Verursacher der PM2.5-Belastungen (Emissionsbilanzen)

Wird im Rahmen des Endberichtes durchgeführt.

7.2 Schlussfolgerungen für Minderungsmaßnahmen der PM2.5-Emissionen

Wird durchgeführt, wenn die Immissionskarten und die Verursacherbilanzen vorliegen.

8 LITERATUR

Baumann, W., Ismeier, M. (1997): Exemplarische Erfassung der Umweltexposition ausgewählter Kautschukderivate bei der bestimmungsgemäßen Verwendung in Reifen und deren Entsorgung. Endbericht zum Forschungsvorhaben 206 02 081. Herausgeber: Institut für Umweltforschung INFU) der Universität Dortmund. Juli 1997.

BAST (2005): PM₁₀-Emissionen an Außerortsstraßen mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM₁₀-Konzentrationen aus Messungen an der A 1 Hamburg und Ausbreitungsrechnungen (Düring, I., Böisinger, R., Lohmeyer, A.). Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 125, ISBN 3-86509-307-8, Bergisch-Gladbach, Juni 2005.

1. BImSchV22ÄndV (2007): Erste Verordnung zur Änderung der Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft (1. BImSchV22ÄndV). In BGBl. I vom 27.02.2007, S. 241.

1. BImSchV (2003): Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen. Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Artikel 1 der Verordnung zur Neufassung der Ersten und Änderung der Vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes). Stand: Oktober 2003.

3. BImSchV (2009): Dritte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über den Schwefelgehalt bestimmter flüssiger Kraft- oder Brennstoffe) vom 24. Juni 2002 (BGBl. I S. 2243), die durch die Verordnung vom 3. Juli 2009 [BGBl. I S. 1720 (3140)] geändert worden ist.

10. BImSchV (2009): Zehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Beschaffenheit und die Auszeichnung der Qualitäten von Kraftstoffen). Stand: Januar 2009.

22. BImSchV (2007): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft - 22. BImSchV). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 25, ausgegeben zu Bonn am 12. Juni 2007.

28. BImSchV (1998): Achtundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionsgrenzwerte für Verbrennungsmotoren - 28. BImSchV). Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1998, Teil I, Nr. 75, November 1998.
39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchst-mengen - 39. BImSchV). S. 1065-1104. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2010 Teil I Nr. 40, ausgegeben zu Bonn am 5. August 2010.
- BUWAL (2001): Maßnahmen zur Reduktion der PM10-Emissionen. Umweltmaterialien Heft Nr. 136, 2001.
- BUWAL (2003): Modelling of PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland 2000 and 2010. Environmental Documentation No. 169, Air. Published by the Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape SAEFL, Berne 2003.
- Brandl, A., Samhammer, H., Pressler, A., Strobl, J., Schmidt, J. (2000): Grundsatzuntersuchung über die Korngrößenverteilung im Abgas verschiedener Emittenten (<PM_{2.5} und <PM₁₀). Projekt I und II. TÜV Ecoplan Umwelt GmbH bzw. TÜV Süddeutschland im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz (LfU), Augsburg 2000.
- Bruckmann, P., Otto, R., Wurzler, S., Pfeffer, U., Doppelfeld, A., Beier, R. (2009): Welche Anforderungen stellen die neuen europäischen Regelungen zu der Feinstaubfraktion PM_{2.5} an den Immissionsschutz? Immissionsschutz 3/09.
- Cambra-Lopez (2010): Control of particulate matter emission from poultry and pig houses. Universidad Politecnica de Valencia, July 2010. [dspace.upv.es/xmlui/bitstream/handle/10251/8501/tesisUPV3346.pdf?](http://dspace.upv.es/xmlui/bitstream/handle/10251/8501/tesisUPV3346.pdf)
- CORINAIR (2007): EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2007. EEA (European Environment Agency). Publish date: 5 Dec 2007. In: Technical report No 16/2007.
- De Leeuw, F., Horálek, J. (2009): Assessment of the health impacts of exposure to PM_{2.5} at a European level. ETC/ACC Technical Paper 2009/1. European Topic Centre on Air and Climate Change, June 2009.
- EEA/EMEP (2007): emission inventory guidebook 2007. <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5/B1100vs1.pdf>

EEA/EMEP (2009): emission inventory guidebook 2009, updated June 2010. 4.B Animal husbandry and manure management. <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009>

Ehrlich, C., Noll, G., Kalkoff, W.-D., Baumbach, G., Dreiseidler, A. (2007): PM10, PM2.5 and PM1.0 - Emissions from industrial plants - Results from measurement programmes in Germany. Atmospheric Environment 41 (2007) 6236-6254.

EG-Richtlinie 1997/68/EG (1997): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 27.02.1998, Nr. L059.

EG-Richtlinie 1999/96/EG (1999): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13.12.1999 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Maßnahmen gegen die Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Selbstzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und die Emission gasförmiger Schadstoffe aus mit Erdgas oder Flüssiggas betriebenen Fremdzündungsmotoren zum Antrieb von Fahrzeugen und zur Änderung der Richtlinie 88/77/EWG des Rates.

EG-Richtlinie 2002/88/EG (2002): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 09.12.2002 zur Änderung der Richtlinie 97/68/EG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte.

EG-Richtlinie 2003/17/EG (2003): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 03.03.2003 zur Änderung der Richtlinie 98/70/EG über die Qualität von Otto- und Dieselkraftstoffen (Text von Bedeutung für den EWR).

EG-Richtlinie 2004/26/EG (2004): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.04.2004 zur Änderung der Richtlinie 97/68/EG zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 25.06.2004, Nr. L225/3.

- EG-Richtlinie 2005/69/EG (2005): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.1997 zur 27. Änderung der Richtlinie 76/69/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten betreffend Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in Weichmacheroelen und Reifen). Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 09.12.2005, Nr. L323.
- EG-Richtlinie 2008/50/EG (2008): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft vom 11.06.2008, Nr. L152/1.
- EPA (1995): Compilation of air pollution emission factors, Vol. 1 and Vol. 2, AP-42, 5th edition.
- EPA (2006): Compilation of Air pollutant Emission Factors. Vol. I: Stationary and area sources. AP 42. Section 13.2.2. Unpaved roads. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. 2006.
- Garben et al. (1996): Emissionskataster Kraftfahrzeugverkehr Berlin 1993. IVU GmbH, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin.
- Gebbe, Hartung, Berthold (1997): Quantifizierung des Reifenabriebs von Kraftfahrzeugen in Berlin. Teil II: Endbericht, Technische Universität Berlin, ISS-Fahrzeugtechnik, im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin 1997.
- Gehrig, R., Hill, M., Buchmann, B., Imhof, D., Weingartner, E., Baltensperger, U. (2003): Verifikation von PM10-Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Abschlussbericht der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) und des Paul Scherrer Institutes (PSI) zum Forschungsprojekt ASTRA 2000/415. Juli 2003. www.empa.ch/plugin/template/empa/700/5750/---/l=1
- Glasius et al. (2006): Impact of wood combustion on particle levels in a residential area in Denmark. Atmospheric Environment 40 (2006) 7115-7124.

- Haenel (Hrsg.) (2010): Berechnung der Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft - Nationaler Emissionsbericht (NIR) 2010 für 2008. Landbauforschung.Sonderheft 334.
- Hinz (2005): Messung luftgetragener Partikel in und aus der Geflügelmast. Landtechnik 60, pp. 100–101.
- Hinz und Tamoschat-Depolt (2007): Particulate Matter in and from Agriculture. Special Issue 308, Landbauforschung Völkenrode.
- Hüglin, C., Gehrig, R., Hofer, P., Monn, C., Baltensperger, U. (2000): Partikelemissionen (PM10 und PM2.5) des Straßenverkehrs. Chemische Zusammensetzung des Feinstaubes und Quellenzuordnung mit einem Rezeptormodell. Bericht des NFP41" Verkehr und Umwelt", Bericht C4. EMPA, Abt. Luftfremdstoffe / Umwelttechnik, CH-8600 Dübendorf.
- IFEU (2004): Auswirkungen neuer Erkenntnisse auf die Berechnungen der Partikel- und NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs. Kurzstudie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg, Oktober 2004, Heidelberg.
- IFEU (2009): Nichtauspuffbedingte Partikelemissionen von Maschinen und Geräten in Land- und Bauwirtschaft, Aktualisierung der Emissionsfaktoren. Grundlegenden Daten für das Projekt: Verursacher, flächenhafte Belastung und Tendenzen für PM2.5 in Sachsen. AG: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Umwelt, Dresden. Heidelberg, September 2009.
- Israël, G.W., Schlums, C., Treffeisen, R., Pesch, M. (1996): Rußimmission in Berlin - Herkunftsbestimmung, KFZ-Flottenemissionsfaktoren, Vergleichbarkeit von Probenahmemethoden. Fortschrittberichte VDI, Reihe 15: Umwelttechnik Nr. 152, ISBN 3-18-315215-0, VDI-Verlag Düsseldorf, Februar 1996.
- Jörß, W., Handke, V., Lambrecht, U., Dünnebeil, F. (2007): Forschungsbericht 204 42 202/2, UVBA-FB 000965 - Emissionen und Maßnahmenanalyse Feinstaub 2000 - 2020. Texte 38/07, ISSN 1862-4804.
- Ketzel, M., Omstedt, G., Johansson, C., Düring, I., Pohjola, M., Oetl, D., Gidhagen, L. Wählin, P., Lohmeyer, A., Haakana, M., Berkowicz, R. (2007): Estimation and validation of PM2.5/PM10 exhaust and non-exhaust emission factors for practical street pollution modelling. Atmospheric Environment 41, Issue 40, December 2007, Pages 9370-9485.

- Klimont et. al (2002): Modelling Particulate Emissions in Europe. A Framework to Estimate Reduction Potential and Control Costs. Interim Report IR-02-076. International Institute for Applied Systems Analysis.
- Klingenberg, H., Schürmann, D., Lies, K.-H. (1991): Dieselmotorabgas - Entstehung und Messung. In: VDI-Bericht Nr. 888, S. 119-131.
- KTBL (2006): Handhabung der TA Luft bei Tierhaltungsanlagen – Ein Wegweiser für die Praxis. KTBL-Schrift 447, Darmstadt.
- Lawrence, S., Sokhi, R.S., Mao, H., Ravindra, K., Bull, I.D. (2009): QUANTIFICATION OF ATMOSPHERIC PARTICLE EMISSIONS FORM NON-EXHAUST SOURCES USING TUNNEL MEASUREMENTS AND SOURCE APPORTIONMENT MODELLING. 7th International Conference on Air Quality - Science and Application. 24-27 March 2009, Istanbul, Turkey.
- LfU Bayern (2000): Grundsatzuntersuchung über die Ermittlung der Korngrößenverteilung im Abgas verschiedener Emittenten (< PM 2,5 und < PM 10) - Projekt I: Anlagen der Zement-, Glas-, Keramik- und Metallindustrie, Asphaltmischanlagen, Schwerölf Feuerungsanlagen. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz und TÜV Süddeutschland.
- LfULG (2007): Emissionsminderung in der Legehennenhaltung (Heft 3/2007).
- LfULG (2008): Quantifizierung von Emissionen in der Rinderhaltung (Heft 33/2008).
- Lohmeyer (2004): 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 (2009): Aktualisierung des MLuS 02, geänderte Fassung 2005 bezüglich Emission, Lärmschutzmodul, NO/NO₂-Konversion, Vorbelastung und Fortschreibung 22. BImSchV, FE 02.0255/2004/LRB. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Radebeul. Projekt 70405-08-01. Sachstandsbericht vom 29.06.2009. Gutachten im Auftrag von: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.

- Ludes, G., Siebers, B., Kuhlbusch, T., Quass, U., Beyer, M., Weber, F. (2008): UBA-Forschungsbericht 205 45 130 - Feinstaub und NO₂ - Entwicklung und Validierung einer Methode zur immissionsseitigen dynamische Verkehrssteuerung. Abschlussbericht. August 2008.
- Lükewille, A., Bertok, I., Amann, M., Cofala, J., Gyarmas, 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.
- Palmgren, F., Wahlin, P., Berkowicz, R., Ketzel, M., Illerup, J. B., Nielsen, M., Winther, M., Glasius, M., Jensen, B. (2003): Aerosols in Danish Air (AIDA). Mid-term report 2000-2002. NERI Technical Report No. 460.
http://www.dmu.dk/1_Viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rapporter/FR460.PDF.
- Pregger, T. (2006): Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland. Dissertation, IER Universität Stuttgart.
- Rauterberg-Wulff, A. (1999a): Determination of Emission Factors for Tire Wear Particles up to 10 µm by Tunnel Measurements. Paper presented at 8th International Symposium Transport and Air Pollution, Graz, Österreich 31. Mai - 2. Juni 1999.
- Rauterberg-Wulff, A. (1999b): Beitrag des Reifen- und Bremsenabriebs zur Rußemission an Straßen. Fortschrittsberichte des VDI, Reihe 15: Umwelttechnik Nr. 202.
- Schneider und Büscher (2006): Emissionsfaktoren in der Geflügelmast. Landtechnik 61, pp. 90–91.
- Schneider, J. und Lorbeer, G. (2002): Inhaltsstoffe von PM10- und PM2.5 an zwei Messstationen. Berichte BE-208. Umweltbundesamt GmbH, Wien, Juni 2002. ISBN 3-85457-649-8.
- SMUL (2008): Immissionsschutzrechtliche Regelung. Rinderanlagen. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft. März 2008.
- SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2009a): Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: Einfluss kleiner Holzfeuerungen auf die Immissionssitua-

- tion - Teil Immissionsmessung. Az: 13-0345.42/275. Berichtszeitraum 01.10.2007 - 31.03.2008.
- SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (2009b): Forschungs- und Entwicklungsvorhaben: Untersuchung der sommerlichen Belastung mit Holzverbrennungstracern in Seiffen. Az: 13-0345.42/275. Berichtszeitraum 15.08. bis 04.09.2008.
- Stern, R. (2006): FE-Vorhaben UFOPLAN Nr. 202 43 270. Anwendung des REM-CALGRID-Modells für die Immissionsprognose 2010 und 2020 in Deutschland auf der Basis hoch aufgelöster Emissionsdaten. Auftraggeber: Umweltbundesamt Dessau. Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Troposphärische Umweltforschung. Mai 2006.
- Steven, H. (2009): Draft Cross reference between the traffic situations of HBEFA 2.1 and HBEFA 3.1. Status: 18.09.2009.
- Takai, H., Pedersen, S., Johnson, J.O. (1998): Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. Journal of Agricultural Engineering Research, Vol. 70, pp. 59-77, 1998.
- TA Luft (2002): 1. Allg. Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft). GMBI. 2002, Heft 25 - 29, S.511 - 605).
- TNO (2009): Regional Modelling of Particulate Matter for the Netherlands. Technical Report BOP. Report Nr. 555004001. TNO Built Environment and Geosciences, Apeldoorn, Netherlands.
- UBA (2007): Neuentwicklungen von regional hoch aufgelösten Wetterlagen für Deutschland und Bereitstellung regionaler Klimaszenarios auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit dem Regionalisierungsmodell WETTREG auf der Basis von globalen Klimasimulationen mit ECHAM5/MPI-OM T63L31 2010 bis 2100 für die SRES-Szenarios B1, A1B und A2. Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes, FuE-Vorhaben Förderkennzeichen 204 41 138, Spekat, A., Enke, W., Kreienkamp, F., Januar 2007.
- UBA (2008): Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung. Forschungsbericht 205 42 322, UBA-FB 001217. (Struschka, M., Kilgus, D., Springmann, M., Baumbach, G.) Universität Stuttgart, Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkes-

selwesen (IVD) unter Mitwirkung der Landesinnungsverbände des Schornsteinfegerhandwerks von Baden-Württemberg, Bayern, Sachsen und Nordrhein-Westfalen sowie der Kaminkehrer-Innung Niederbayern. Texte 44/08. ISSN 1862-4804.

UBA (2010): Daten zur Umwelt - Umweltzustand in Deutschland. Staub-Emissionen <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=3579> letzter Zugriff 12.11.2010

US-EPA Environmental Protection Agency (1995): Compilation of air pollutant emission factors. Vol. I: Stationary point and area sources, 5th edition, AP-42, Washington January 1995.

VDI 3790, Blatt 3 (2010): Umweltmeteorologie - Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen: Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN - Normenausschuss, Düsseldorf, September 2008.

VDI 3894, Blatt 1 (2009): Entwurf: Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen - Haltungsverfahren und Emissionen - Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Stand: 10/2009.

A N H A N G A 1:
PM_x-EMISSIONSANTEILE (INDUSTRIE)

Anlage	Quelle	Einsatzstoff	Abgasreinigung	EF PM	PM2.5	PM10
Zementwerk	Abgas Lepolofen		Elektrofilter		%	%
					51	87
					68	99
					84	97
Feinkeramik	Klinkerkühler Lepolofen		Elektrofilter		66	97
					60	88
					48	94
Glasindustrie	Flachglasherstellung		Kalkzugabe, Elektrofilter		56	95
					-	-
Aluminiumschmelze	Behälterglasherstellung		Kalkreaktor, Gewebefilter		75	99
					53	95
Eisengießerei	Kupolofen Obergichtabsaugung		TNV, Kühler, Gewebefilter		47	88
					50	78
					38	88
					88	96
					18	79
					18	79
Asphaltemischanlage	Abluft Misch- und Trockentrommel		Elektrofilter		33	95
					41	96
Siliziumherstellung	Elektro-Niederschichtöfen		Gewebefilter		70	91
					66	87
Schweröffeuerung	mit SNCR		Additiv			
					ohne SNCR	Additiv

Quelle: LfU Bayern (2000): Grundsatzuntersuchung über die Ermittlung der Korngrößenverteilung im Abgas verschiedener Emittenten (< PM 2.5 und < PM 10)

Düngemittelherstellung		ja			78	95
Düngemittelherstellung		ja			36	97
Brecheranlage	Kalkstein/Dolomit	ja			22	72
Zementherstellung	Drehrohrofen	ja			75	97
Zementherstellung	Klinkerkühlung	ja			4	37
Zementherstellung	Drehrohrofen	ja			51	87
Zementherstellung	Klinkerkühlung	ja			68	99
Eisengießerei		ja			55	99
Eisengießerei		ja			50	97
Holzspantrocknung		ja			95	99
Aluminiumschmelzanlage		ja			75	99
Feinkeramikherstellung		ja			60	94
Flachglasherstellung		ja			48	94
Asphaltemischanlage		ja			33	96
Spritzlackierung von Automobilen		ja			85	98

Quelle: Pregger (2006): Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland. Tab. 3-19

	kg/t		
Umschlag Getreide/Futtermittel	0.0625-0.125	14	49
Umschlag sonstige Güter	0.007 - 0.05	5	35

Quelle: Pregger (2006): Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland. Tab. 3-21

Zementindustrie	Drehrohrofen (DRO), Direktbet BK-Staub, Altöl		EGR (horizontal)	77 - 88	95 - 98
Zementindustrie	Drehrohrofen (DRO), Verbund BK-Staub, Altöl		EGR (horizontal)	65 - 74	95 - 98
Zementindustrie	Rostkühler Messung M1,		Gewebeabscheider	2,5 - 4,7	39 - 48
Zementindustrie	Rostkühler Messung M2,		Gewebeabscheider	1,2 - 3,6	19 - 26
Kupferindustrie	Konverter,	Koks	Schlauchabscheider	76 - 78	95 - 97
Braunkohleveredlung	Industriekraftwerk (IKW),	Extrahierte Trockenbraunk	EGR (horizontal), Wäscher	69 - 80	88 - 93
Zuckerindustrie	Industriekraftwerk (IKW),	Braunkohlenbrikett	EGR (horizontal)	70 - 77	86 - 98
Wirbelschichtfeuerung	Industriekraftwerk (IKW),	Rohbraunkohle	EGR (horizontal)	63 - 68	94 - 99
Kleinfuehrungsemissor	Durchbrandofen	Braunkohlenbrikett		76 - 95	88 - 98

Quelle: Feinstaubemissionsuntersuchungen in S-At: PM10-, PM2.5- und PM1.0-Emissionen aus Industrie und Hausbrand. Berichte des LfU Sachsen-Anhalt 2001 - Sonderheft 1

Anlage	Quelle	Einsatzstoff	Abgasreinigung	EF PM	PM2.5	PM10
Zementindustrie	Drehrohrofen (DRO), Direktbet BK-Staub, Altöl		EGR (horizontal)		%	%
Zementindustrie	Drehrohrofen (DRO), Verbund BK-Staub, Altöl		EGR (horizontal)		82	97
Zementindustrie	Lepolofen	Kohle, Altöl, Altreifen	EGR		70	96
Zementindustrie	Wärmetauscher	Schweröl, Altreifen	EGR		50	92
Zementindustrie	Wärmetauscher	Schweröl, Altreifen	EGR		75	99
Zementindustrie	Drehrohrofen (DRO), Direktbet BK-Staub, Rohmehl		EGR		62	100
Zementindustrie	Drehrohrofen (DRO), Direktbet BK-Staub, Rohmehl		EGR		78	96
Zementindustrie	Drehrohrofen (DRO), Direktbet BK-Staub, Rohmehl		EGR		56	90
Zementindustrie	Drehrohrofen (DRO), Direktbet BK-Staub, Rohmehl		EGR		49	91
Zementindustrie	Klinkerkühler		FF		3,8	43,3
Zementindustrie	Klinkerkühler		FF		2,6	23,6
Zementindustrie	Klinkerkühler		EGR, multi-CC, CC		64,5	98
Glasherstellung	Glas	Gas	Kalksorption, EGR		53,5	95,3
Glasherstellung	Flachglas	Gas	EGR, FGD		44,8	93,2
Glasherstellung	Becherglas	Gas	FF		53,3	93,4
Glasherstellung	Becherglas- Bearbeitung		FF		49,5	83,9
Asphaltemischanlage			FF		29,2	93,1
Feinkeramikherstellung			FF		57,4	94,9
Naturstein	Brecher Kalkstein		FF		14,2	69,2
Naturstein	Sieben Kalkstein		FF		5,9	59,2
Sand	Aufbereitung		FF		11,9	68,7
Sand	Trocknung		FF		18,9	87,3
Naturstein	Lehm, Gley		FF		34,4	80,4

Quelle: Ehrlich, C., Noll, G. et al. (2007): PM10, PM2.5 und PM1.0-Emissions from industrial plants - Results from measurement programmes in Germany. Table 2

Anlage	Quelle	Einsatzstoff	Abgasreinigung	EF PM	PM2,5	PM10
					µg	µg
Steinkohlaufbereitung (Tracknen)				0,025 kg/t	16	31
Steinkohlebrikettierung				0,100 kg/t	16	30
Steinkohlenkokerien				0,150 kg/t	46	64
Braunkohlaufbereitung				0,400 kg/t	16	30
Braunkohlebrikettierung				0,400 kg/t	16	30
Holzkohleproduktion				1,550 kg/t	80	95
Refination von Erdöl				0,011 kg/t Rohöl	72	97
Roheisenerzeugung				0,750 kg/t	16	60
Sinterproduktion				0,465 kg/t	33	69
Aufblastahlerzeugung				0,340 kg/t	80	90
Elektrostahlerzeugung				0,106 kg/t	61	90
Eisen-, Stahl- und Temper (EST) -Gießereien				0,200 kg/t	40	79
Leichtmetallgießereien				0,366 kg/t	48	76
Dunmetallgießereien				0,366 kg/t	48	76
Produktion von Ferrolegierungen				0,240 kg/t	49	83
Primäraluminiumproduktion				2,960 kg/t	33	69
Umschmelzaluminiumproduktion				0,500 kg/t	58	96
Primärkupferproduktion				0,100 kg/t	80	95
Sekundärkupferproduktion				0,600 kg/t	70	90
Primärbleiproduktion				0,100 kg/t	50	95
Sekundärbleiproduktion				0,100 kg/t	50	95
Bleioxidproduktion				0,430 kg/t	60	90
Primärzinkproduktion				0,100 kg/t	80	90
Sekundärzinkproduktion				0,100 kg/t	60	90
Nickelproduktion				0,600 kg/t	50	83
Feuerverzinkung				0,020 kg/t	58	82
Kalkproduktion				0,201 kg/t	42	77
Gipsproduktion				0,096 kg/t	36	67
Zementproduktion				0,250 kg/t	50	81
Produktion von feuerfestem Zement, Mörtel				0,250 kg/t	50	81
Betonmischerwerke				0,024 kg/t	10	20
Leichtzuschlagstoffproduktion				0,166 kg/t	43	63
Ziegelproduktion				0,147 kg/t	50	81
Produktion von feuerfesten Materialien				0,147 kg/t	50	81
Aufbereitung von Feldspat				0,170 kg/t	12	32
Keramikproduktion				0,169 kg/t	60	94
Aufbereitung von Dentoniten				0,079 kg/t	59	91
Glasproduktion				0,070 kg/t	45	76
Glasfaserdämmstoffproduktion				0,301 kg/t	70	90
Textilglasfaserproduktion				0,070 kg/t	70	90
Mineralfaserproduktion				0,401 kg/t	70	90
Schleifmittelproduktion				0,007 kg/t	41	66
Aufbereitung von Sand und Kies				0,017 kg/t	15	32
Schotterwerke, Aufbereitung von Natursteinen				0,038 kg/t	9	22
Aufbereitung von Flußspat				0,376 kg/t	10	48
Gewinnung von Stein-/Hütten-/Salinensalz				0,006 kg/t	5	9
Gewinnung von Kalisalz				0,150 kg/t	5	9
Produktion von Asphaltmischgut				0,006 kg/t	40	96
Produktion von Dämmstoffbahnen				0,003 kg/t	95	90
Rußproduktion				0,250 kg/t	49	90
Siliciumproduktion				0,026 kg/t	41	66
Kalziumnitridproduktion				0,470 kg/t	50	60
Adipinsäureproduktion				0,005 kg/t	70	90
Phthalsäureanhydridproduktion				0,475 kg/t	70	90
Polyvinylchloridproduktion				0,175 kg/t	50	90
Polypropylenproduktion				0,075 kg/t	50	90
Vulkanisation/Gummiverarbeitung				0,103 kg/t	50	90
Polyesterfaserproduktion				0,145 kg/t	56	86
Polyamidfaserproduktion				0,221 kg/t	56	86
Polyolefinfaserproduktion				0,010 kg/t	56	86
Polyacrylfaserproduktion				0,019 kg/t	56	86
Zellulosefaserproduktion				0,071 kg/t	56	86
Farben- und Lackproduktion				0,065 kg/t	50	80
Produktion von Stickstoff-Düngemitteln				1,060 kg/t	30	70
Produktion von Phosphor-Düngemitteln				0,410 kg/t	20	65
Produktion von Kali-Düngemitteln				0,320 kg/t	15	47
Mischen und Abfüllen von Düngemitteln				0,111 kg/t	15	53
Fluorwasserstoffproduktion				0,016 kg/t	50	90
Phosphorsäureproduktion				0,138 kg/t P2O5	50	90
Natriumcarbonatproduktion				0,142 kg/t	50	90
Schwefelsäureproduktion				0,030 kg/t Schwefel	48	87
Borsäureproduktion				0,110 kg/t	3	11
Spanplattenproduktion				0,300 kg/t	51	77
Spanholz- und Furnierholzproduktion				0,130 kg/m³	60	80
Zellstoffproduktion				0,071 kg/t Pulpe	50	77
Rauchereien				1,035 g/t Rauchergut	90	95
Geröstereien				1,700 kg/t	41	53
Kaffeeöstereien				0,680 kg/t	59	61
Bierproduktion				0,019 kg/t	15	50
Malzrösten				0,070 kg/t	59	61
Zuckerproduktion				0,160 kg/t	31	46
Lackierereien				3,460 kg/t Lack	78	82
Aufbereitung von Bauschutt, Straßenaufbruch				0,042 kg/t	15	48
Abfallaufbereitung, Sortierung				0,019 kg/t	15	48
Kaltwalzwerk Aluminium				0,015 kg/t Aluband	40	75
NE-Metallpulverherstellung				0,036 kg/t	80	90
Druckanlagen				0,223 g/t Lösemittel	50	90
Strahlanlagen				0,136 g/Beschäftigte	40	60
Produktion von Hartbrandkohlen/Elektrographit				0,255 kg/t	80	95
Papierproduktion				0,015 kg/t	80	95
Behandlung edelmetallhaltiger Abfälle				0,232 kg/t	80	95
Pflanzenölherstellung				0,065 kg/t Saatgut	10	40
Aluminiumoxidproduktion				0,005 kg/t	30	60
Schneidereien (Holzbe- und -verarbeitung)				15,650 g/Beschäftigte	14	60
Kanndherstellung				0,265 kg/t	70	80
Motorenprüfstände				0,070 g/Beschäftigte	85	95
Magnetherstellung				1,043 g/Beschäftigte	50	80
Oberflächenbehandlung von Metallen				0,026 g/Beschäftigte	20	40
Bauprozesse (diffus)				0,103 kg/m²	5	50
Umschlag Getreide/Futterm., Seeschiffe				0,125 kg/t	14	49
Umschlag Getreide/Futterm., Binnenschiffe				0,125 kg/t	14	49
Umschlag Getreide/Futterm., LKW, Bahn				0,063 kg/t	14	49
Umschlag chemische Düngemittel				0,050 kg/t	5	35
Umschlag natürliche Düngemittel				0,025 kg/t	5	35
Umschlag Braunkohlen				0,025 kg/t	5	35
Umschlag Steinkohlen, Steinkohlekoks				0,075 kg/t	5	35
Umschlag Kohlelnkoks				0,025 kg/t	5	35
Umschlag Petrolkoks				0,044 kg/t	5	35
Umschlag Eisenerze				0,050 kg/t	5	35
Umschlag Bauxit, Aluminiumerze				0,150 kg/t	5	35
Umschlag sonstige NE-Metallerze				0,050 kg/t	5	35
Umschlag Sand/Ges., Natursteine				0,018 kg/t	5	35
Umschlag Zementklinker				0,015 kg/t	5	35
Umschlag Gips				0,075 kg/t	5	35
Umschlag Kal-, Stein- und Siedesalz				0,075 kg/t	5	35
Umschlag Schwefelkies				0,010 kg/t	5	35
Umschlag Schwefel				0,075 kg/t	5	35
Umschlag Eisen- und Stahlabfälle				0,025 kg/t	5	35

Quelle: Pregar (2006): Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland. Anhang Tab. 6-2

A N H A N G A 2:
PM_x-EMISSIONSANTEILE (GROSSFEUERUNGSANLAGEN)

Einsatzstoff	Art	Abgasreinigung	BRD 2000				
			EF PM kg/TJ	PM kt/a	PM10 %	PM2.5 %	PM1
Braunkohle	öffentliche Kraft-/Heizwerke		3,86	6	91	77	
Steinkohle	öffentliche Kraft-/Heizwerke		3,89	4,7	91	79	
Heizöl- und Mineralölprodukte	öffentliche Kraft-/Heizwerke		4,35	0,18	90	81	
Gase	öffentliche Kraft-/Heizwerke		0,29	0,14	100	100	
Braunkohle	industrielle Heiz-/Kraftwerke		16,1	1,47	91	77	
Steinkohle	industrielle Heiz-/Kraftwerke		5,25	1,1	90	74	
Heizöl- und Mineralölprodukte	industrielle Heiz-/Kraftwerke		5,57	1,35	88	79	
Gase	industrielle Heiz-/Kraftwerke		0,24	0,17	100	100	
Abfallverbrennung			0,5	0,05	100	82	

Quelle: Pregger (2006): Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland. Abb. 4-6 bzw. Anhang Tab. 8-1

Steinkohle	Kraftwerk	ja	91	79
Heizöl S, Erdgas	Industriekraftwerk	ja	93	84
Braunkohle	Industriekraftwerk	ja	91	74-77
Holz, Holzreste	Industriekraftwerk	ja	92	71
Heizöl S	Industriekraftwerk	ja	96	75

Quelle: Pregger (2006): Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland. Tab. 3-16

Braunkohle	Kraftwerk 180 MW	ESP, Wäscher	91	76	52
Braunkohle	Wirbelschichtfeuerung 119 M	ESP, FGD, NOx	97	66	26
Steinkohle	Kraftwerk 1000 MW	ESP, FGD, NOx	88	69	51
Steinkohle	Kraftwerk 1000 MW	ESP, FGD, NOx	91	72	50
Schweröl	Verbrennung 10 MW	Additive	98	82	64
Schweröl	Verbrennung 10 MW	Additive	91	65	50
Schweröl	Verbrennung 10 MW	Additive, SNCR	97	78	56
Schweröl	Verbrennung 10 MW	Additive, SNCR	94	68	51
Dampf, Schweröl	Verbrennung	SNCR	93	69	49
Schweröl	Verbrennung 270 MW	NOx	87	71	63
Schweröl	Verbrennung 270 MW	Additive, Nox	94	86	77
Schweröl	Verbrennung 270 MW	NOx	97	89	76
Schweröl	Verbrennung 270 MW	Additive, Nox	96	87	69
Sägespäne	Rostbefeuerung 1.4 MW	CC	99	70	49
Sägespäne	Rostbefeuerung 1.4 MW	CC	98	68	45
Sägespäne	Rostbefeuerung 0.8 MW	CC	98	63	36
Hackschnitzel	Rostbefeuerung 3 MW	CC	98	92	85
Spanplattenreste	Rostbeschicker 2.3 MW	Multi-CC	95	73	59
Holzstücke, Sägespäne	Rostbefeuerung 1.1 MW	CC	90	55	43
Holzabfall, Hackschnitzel	Rostbefeuerung 2 MW	ESP	98	67	62
Hackschnitzel, Holz	Rostbefeuerung 7-9 MW	ESP	74	54	46
Gas, Holz, Hackschnitzel	Rostbefeuerung 7-9 MW	ESP	81	57	46
Holzabfall, Hackschnitzel	Rostbefeuerung 15 MW	ESP	87	53	34
Hackschnitzel	Rostbefeuerung 1.5 MW	CGC, multi-CC	100	100	96
Hackschnitzel	Rostbefeuerung 1.5 MW	CGC, multi-CC	100	97	93
Dampf, Altholz	Kraftwerk	CC, FF, Nox	80	31	14

Quelle: Ehrlich, C., Noll, G. et al. (2007): PM10, PM2.5 and PM1.0-Emissions from industrial plants - Results from measurement programmes in Germany. Table 2

A N H A N G A3:
PM_x-EMISSIONSANTEILE (KLEINE FEUERUNGSANLAGEN)

	Einsatzstoff	Art	Abgasreinigung	EF PM kg/TJ	PM10 %	PM2.5 %	PM1 %
Haushaltsfeuerung	Steinkohlelektrofeuerung			16	100	100	
Haushaltsfeuerung	Steinkohlefeuerung ABL			86	100	99	
Haushaltsfeuerung	Steinkohlefeuerung NBL			92	100	100	
Haushaltsfeuerung	Braunkohlefeuerung ABL			89	96	88	
Haushaltsfeuerung	Braunkohlefeuerung NBL			88	96	88	
Haushaltsfeuerung	Ölfeuerung EL			1,7	100	100	
Haushaltsfeuerung	Gasfeuerung			0,03	100	100	
Haushaltsfeuerung	Torfheizung			350	98	93	
Haushaltsfeuerung	Holzfeuerung			116	97	90	
Kleinverbraucher	Steinkohlelektrofeuerung			17	100	100	
Kleinverbraucher	Steinkohlefeuerung			18	98	95	
Kleinverbraucher	Braunkohlefeuerung ABL			89	96	88	
Kleinverbraucher	Braunkohlefeuerung NBL			88	96	88	
Kleinverbraucher	Ölfeuerung S			38	83	67	
Kleinverbraucher	Ölfeuerung EL			1,7	100	100	
Kleinverbraucher	Gasfeuerung			0,03	100	100	
Kleinverbraucher	Holzfeuerung			73	95	82	
Quelle: Pregger (2006): Ermittlung und Analyse der Emissionen und Potenziale zur Minderung primärer anthropogener Feinstäube in Deutschland. Tab. 3-17 und 3-18							
Haushaltsfeuerung	Braunkohle LAUBAG				93	85	77
Haushaltsfeuerung	Braunkohle LAUBAG				92	84	76
Haushaltsfeuerung	Braunkohle MIBRAG				96	84	64
Haushaltsfeuerung	Braunkohle MIBRAG				91	81	63
Haushaltsfeuerung	Braunkohle Polnische				96	81	65
Haushaltsfeuerung	Braunkohle Polnische				94	77	63
Haushaltsfeuerung	Braunkohle Baschkirische				91	81	71
Haushaltsfeuerung	Braunkohle MIBRAG				94	86	75
	Hackschnitzel	Feuerungsanlage 175 kW	CC		94	84	80
	Pressplatten	Feuerungsanlage 175 kW	CC		99	86	80
	Hackschnitzel	Feuerungsanlage 150 kW	nein		95	72	67
	Hackschnitzel	Feuerungsanlage 150 kW	nein		100	94	87
	Tischlerabfall	Feuerungsanlage 150 kW	nein		74	58	53
	Farbstoffabfall	Feuerungsanlage 150 kW	nein		71	44	39
	Rundholz	Feuerungsanlage 450 kW	multi-CC		100	97	89
	Rundholz	Feuerungsanlage 450 kW	multi-CC		98	80	63
	Rundholz Buche	Kleinfeuerungsanlage 9 kW	nein		99	96	93
	Rundholz Buche	Kleinfeuerungsanlage 9 kW	nein		98	90	71
	Rundholz Kiefer	Kleinfeuerungsanlage 9 kW	nein		99	95	92
	Rundholz Kiefer	Kleinfeuerungsanlage 9 kW	nein		99	98	94
	Rundholz Buche	Kaminöfen 6 kW	nein		100	98	87
	Rundholz Buche	Kaminöfen 6 kW	nein		98	96	87
	Holzpellets	Pelletöfen 8.5 kW	nein		99	95	93
Quelle: Ehrlich, C., Noll, G. et al. (2007): PM10, PM2.5 and PM1.0-Emissions from industrial plants - Results from measurement programmes in Germany. Table 4							
Haushaltsfeuerung	Heizöl EL	Ölöfen mit Verdampfungsbrennern, Heizkessel mit Ölgebläsebrenne	k. A.		100	100	85
Haushaltsfeuerung	Steinkohlen	Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Badeöfen, Herde	k. A.		95	85	78
Haushaltsfeuerung		Heizkessel	k. A.		95	85	78
Haushaltsfeuerung	Steinkohlenkoks, Steinkohlenbriketts	Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Badeöfen, Herde	k. A.		95	86	72
Haushaltsfeuerung		Heizkessel	k. A.		95	86	72
Haushaltsfeuerung	Braunkohlenbriketts	Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Badeöfen, Herde	k. A.		95	85	78
Haushaltsfeuerung		Heizkessel	k. A.		95	85	78
Haushaltsfeuerung	naturlassenes Holz	Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Badeöfen, Herde	k. A.		99	96	92
Haushaltsfeuerung	Holzpellets	Pelletöfen	k. A.		99	95	93
Haushaltsfeuerung		Heizkessel	k. A.		97	84	80
Haushaltsfeuerung	Stückholz	Heizkessel	k. A.		92	79	71
Haushaltsfeuerung	Holz hackschnitzel	Heizkessel	k. A.		94	87	84
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Heizöl EL	Ölöfen mit Verdampfungsbrennern, Heizkessel mit Ölgebläsebrenne	k. A.		100	100	85
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Braunkohlenbriketts	Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Badeöfen, Herde	k. A.		95	85	78
Gewerbe, Handel, Dienstleistung		Heizkessel	k. A.		95	85	78
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Steinkohlen	Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Badeöfen, Herde	k. A.		95	85	78
Gewerbe, Handel, Dienstleistung		Heizkessel	k. A.		95	85	78
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Steinkohlenkoks, Steinkohlenbriketts	Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Badeöfen, Herde	k. A.		95	86	72
Gewerbe, Handel, Dienstleistung		Heizkessel	k. A.		95	86	72
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	naturlassenes Holz	Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Badeöfen, Herde	k. A.		99	96	92
Gewerbe, Handel, Dienstleistung		Heizkessel handbeschickt	k. A.		92	79	71
Gewerbe, Handel, Dienstleistung		Einblasfeuerungen, Unterschubfeuerungen/Vorofenfeuerungen	k. A.		97	88	77
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Holzpellets	Pelletöfen	k. A.		99	95	93
Gewerbe, Handel, Dienstleistung		Heizkessel	k. A.		97	84	80
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Stückholz	Heizkessel	k. A.		92	79	71
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Holz hackschnitzel	Heizkessel	k. A.		94	87	84
Gewerbe, Handel, Dienstleistung	Holzwerkstoffe	Heizkessel handbeschickt	k. A.		92	79	71
Gewerbe, Handel, Dienstleistung		Einblasfeuerungen, Unterschubfeuerungen/Vorofenfeuerungen	k. A.		88	70	64
Quelle: UBA (2008): Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung. Texte 44/08 44							

A N H A N G A4:
PM_x-EMISSIONSANTEILE (TIERHALTUNG)

	Unterteilung	EMEP/Haenel		RAINS'6		Pregger		KTBL (2006)		VDI 3894 Bl.1		BeMit		Verschiedene		Quelle	Spannbreite EF PM2.5 kg/TP a	Empfehlung EF PM2.5 kg/TP a
		PM10 kg/TP a	PM2.5 kg/TP a	PM10 kg/TP a	PM2.5 kg/TP a	PM10 kg/TP a	PM2.5 kg/TP a	PM10 kg/TP a	PM2.5 kg/TP a	PM10 kg/TP a	PM2.5 kg/TP a	PM10 kg/TP a	PM2.5 kg/TP a	PM10 kg/TP a	PM2.5 kg/TP a			
Rinder (außer Milchkühe)	mittlerer EF	0,22	0,14	0,4336	0,0964	0,432	0,096										0,096 - 0,14	0,14
	Flüssigmist	0,32	0,21														0,21	0,21
	Festmist	0,24	0,16														0,16	0,16
Milchkühe	mittlerer EF	0,38/0,47	0,24/0,3	0,4336	0,0964												0,0964 - 0,3	0,24
	Flüssigmist	0,7	0,45					0,1 - 1,8	0,022 - 0,40	1,8	0,4	0,76	0,167	0,2 - 0,33	*1 *5		0,022 - 0,45	0,45
	Festmist	0,36	0,23					0,3 - 0,75	0,066 - 0,165	0,4	0,088	0,76	0,167	0,22 - 0,76	*1,*2,*5		0,066 - 0,23	0,23
Kälber	mittlerer EF	0,16	0,1														0,1	0,1
	Flüssigmist	0,15	0,1					0,1 - 0,25	0,022 - 0,055	0,25	0,055	0,14	0,031	0,08		0,022 - 0,1	0,1	
	Festmist	0,16	0,1					0,1 - 0,2	0,022 - 0,044	0,2	0,044	0,11	0,024	0,11		0,022 - 0,1	0,1	
Färsen	mittlerer EF	0,21/0,22	0,14/0,15														0,14 - 0,15	0,14
	Flüssigmist	0,32	0,21														0,21	0,21
	Festmist	0,24	0,16														0,16	0,16
Mastbullen	mittlerer EF	0,24/0,25	0,16/0,17														0,16 - 0,17	0,16
	Flüssigmist	0,32	0,21					0,25 - 0,45	0,055 - 0,099	0,4	0,088	0,36	0,079	0,16 - 0,29		0,055 - 0,21	0,21	
	Festmist	0,24	0,16					0,1 - 0,4	0,022 - 0,088	0,35	0,077	0,36	0,079	0,28 - 0,33		0,022 - 0,16	0,16	
Mutterkühe	mittlerer EF	0,13/0,16	0,09/0,1														0,09 - 0,1	0,09
	Flüssigmist	0,7	0,45													0,45	0,45	
	Festmist	0,36	0,23													0,23	0,23	
Zuchtbullen	mittlerer EF	0,53	0,34														0,34	0,34
	Flüssigmist	0,7	0,45													0,45	0,45	
	Festmist	0,36	0,23													0,23	0,23	
Schweine	mittlerer EF	0,3/0,28	0,05	0,4376	0,0778	0,293	0,0521										0,05 - 0,0778	0,05
	Sauen	mittlerer EF	0,48/0,47	0,08													0,08	0,08
		Flüssigmist	0,45	0,073					0,12 - 0,86	0,022 - 0,155			0,36	0,065		0,022 - 0,155	0,073	
	Festmist	0,58	0,094					0,24 - 0,76	0,043 - 0,137			0,84	0,151		0,043 - 0,151	0,094		
Aufzuchtferkel	mittlerer EF	0,17/0,16	0,03														0,03	0,03
	Flüssigmist	0,18	0,029					0,07 - 0,14	0,0126 - 0,025	0,08	0,0144	0,08	0,0144		0,0126 - 0,029	0,029		
	Festmist	-	-															
Mastschweine	mittlerer EF	0,42/0,43	0,069														0,069	0,069
	Flüssigmist	0,42	0,069					0,18 - 0,38	0,032 - 0,068	0,24	0,043	0,26	0,047		0,032 - 0,069	0,069		
	Festmist	0,5	0,081					0,24 - 0,38	0,043 - 0,068	0,32	0,058	0,36	0,065		0,043 - 0,081	0,081		
Eber	mittlerer EF	0,44	0,07														0,07	0,07
	Flüssigmist	0,42	0,069													0,069	0,069	
	Festmist	0,5	0,081													0,081	0,081	
Pferde, Esel, Maultiere	mittlerer EF	0,14	0,1			0,48	0,144										0,1 - 0,144	0,1
	Festmist	0,18	0,12														0,12	0,12
Schafe	mittlerer EF	-	-			0,048	0,0144										0,0144	0,0144
Geflügel	mittlerer EF	0,037/0,036	0,005	0,0473	0,0105												0,005 - 0,0105	0,005
Legehennen	mittlerer EF	0,03/0,034	0,005/0,006			0,00165	0,0002										0,00015 - 0,006	0,005
	Käfig	0,017	0,0021					0,003 - 0,009	0,0003 - 0,0008	0,006	0,0005	0,008	0,0007	0,01895	0,00232	*3	0,0003 - 0,00232	0,0021
	Voliere	0,084	0,0162							0,15	0,0135	0,133	0,012	0,0291	*5	0,012 - 0,0162	0,0162	
	Boden/Kotbunker							0,03 - 0,078	0,003 - 0,007	0,24	0,022	0,1	0,009	0,092 - 0,26	*3 *5	0,003 - 0,022	0,01776	
Masthähnchen	mittlerer EF	0,052	0,0068			0,019	0,003	0,01 - 0,03	0,002 - 0,005	0,015	0,002	0,018	0,0029	0,03	0,0013	*4	0,0013 - 0,0068	0,0068
Puten/Truthühne	mittlerer EF	0,032	0,004			0,078	0,012					0,178	0,028			0,004 - 0,028	0,004	
Enten/Gänse	mittlerer EF	0,032	0,004			0,046	0,007					0,055				0,004 - 0,007	0,004	

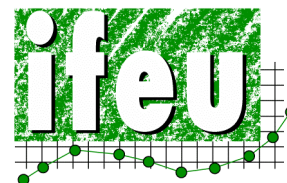
Übersicht Emissionsfaktoren Feinstaub (PM10, PM2.5) für die Tierhaltung

Hinweise: mittlere EF Spalte 3 und 4 sind Werte aus Haenel für BRD/Sachsen; hellgrün: PM2.5-Werte wurden anhand der %-Anteile an PM10 (nach Pregger, 2006, siehe Abschnitt 3.5.2.4) abgeschätzt

Quellen: EMEP (2009, Appendix B, Tier 2 Tables), Haenel (2010), *1: LfULG (2008), *2: SMUL (2008), *3: LfULG (2007), *4: Cambra-Lopez (2010), *5: LfULG Sachsen: emissionsfaktoren021208.xls, *6: Klimont et. al (2002)

Tab. A4.1: Übersicht Emissionsfaktoren Feinstaub (PM10, PM2.5) für die Tierhaltung

A N H A N G A5:
NICHTAUSPUFFBEDINGTE PARTIKELEMISSIONEN VON MASCHINEN UND
GERÄTEN IN LAND- UND BAUWIRTSCHAFT



ifeu -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH



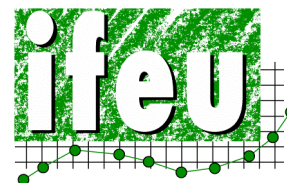
Nichtauspuffbedingte Partikelemissionen von Maschinen und Geräten in Land- und Bauwirtschaft

Aktualisierung der Emissionsfaktoren

Grundlagendaten für das Projekt:
**Verursacher, flächenhafte Belastung und
Tendenzen für PM_{2.5} in Sachsen**

Im Auftrag des Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Heidelberg, November 2010



ifeu -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg GmbH



Nichtauspuffbedingte Partikelemissionen von Maschinen und Geräten in Land- und Bauwirtschaft

Aktualisierung der Emissionsfaktoren

Grundlagendaten für das Projekt:
**Verursacher, flächenhafte Belastung und
Tendenzen für PM_{2.5} in Sachsen**

Im Auftrag des Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

**Hinrich Helms
Ingo Rehberger**

ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstr. 3, D – 69120 Heidelberg
Tel.: +49/(0)6221/4767-0, Fax: +49/(0)6221/4767-19
E-mail: ifeu@ifeu.de, Website: www.ifeu.de

Heidelberg, November 2010

Impressum

Die Verantwortung für den Inhalt dieses Arbeitsberichtes liegt bei den Autoren. Die hier dargestellten Ansichten müssen nicht mit denjenigen des Auftraggebers übereinstimmen.

Bearbeiter der Studie: Hinrich Helms, Ingo Rehberger

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH,
Wilckensstr. 3, D-69120 Heidelberg; Tel. 06221-4767-0; Fax -4767-19;
E-Mail: verkehr@ifeu.de; Internet: www.ifeu.de

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung und Abgrenzung	1
2	Landwirtschaft	2
2.1	Nutzung von Straßen.....	2
2.1.1	Übersicht Emissionsfaktoren Nutzung von Straßen.....	3
2.1.2	Auswahl Emissionsfaktoren Nutzung von Straßen.....	5
2.2	Nutzung von unbefestigten Feldwegen.....	5
2.2.1	Übersicht Emissionsfaktoren Nutzung von unbefestigten Feldwegen	5
2.2.2	Auswahl Emissionsfaktoren Nutzung von unbefestigten Feldwegen.....	7
2.3	Landwirtschaftliche Feldarbeit	7
2.3.1	Übersicht Emissionsfaktoren Feldarbeit und Nachbearbeitung der Ernte	7
2.3.2	Auswahl Emissionsfaktoren Feldarbeit und Nachbearbeitung der Ernte	9
2.4	Überblick Landwirtschaft.....	10
2.5	Beispielrechnung Landwirtschaft	11
3	Bauwirtschaft.....	14
3.1	Übersicht Emissionsfaktoren Hochbau	14
3.2	Übersicht Emissionsfaktoren Straßenbau	15
3.3	Überblick und Beispielrechnung Bauwirtschaft	16
4	Zusammenfassung	18
5	Literaturverzeichnis.....	19

1 Zielsetzung und Abgrenzung

Beim Betrieb von Maschinen in der Land- und Bauwirtschaft entstehen neben den Auspuffemissionen auch Partikelemissionen durch Abrieb an Reifen-, Bremsen- und Straßenbelag sowie durch Aufwirbelung von Staub (Baustellen, Ackerflächen, Straßen). Zusätzlich entstehen Partikelemissionen auf dem Gelände eines landwirtschaftlichen Betriebes bei Prozessen wie Abladen, Reinigen und Trocknen.

Emissionsfaktoren für diese Prozesse wurden für das Emissionskataster Sachsen bereits 2004 (siehe [IFEU 2004]) abgeleitet. Methodik und Datengrundlage zur Ableitung dieser Emissionsfaktoren werden in diesem Arbeitsbericht mit Fokus auf $PM_{2.5}$ aktualisiert. Zusätzlich wird das Verhältnis von $PM_{2.5}$ zu PM_{10} näher betrachtet, da bei einigen Partikelquellen (z.B. Reifenabrieb) nur Werte für die verursachten PM_{10} -Emissionen vorliegen.

Die Emissionsfaktoren wurden entsprechend der bisher für das sächsische Emissionskataster verwendeten Aktivitätsraten (z.B. Baustellenanzahl, genutzte landwirtschaftliche Flächen) abgeleitet und ermöglichen damit eine Bilanzierung der Gesamtemissionen. Im Einzelnen werden Faktoren für nichtauspuffbedingte PM_{10} und $PM_{2.5}$ Emissionen bei

- Fahrten zum Feld (Straßen und Feldwege),
- Arbeit auf dem Feld (Bodenbearbeitung und Ernte) und dem landwirtschaftlichen Betrieb (Trocknen, Reinigen und Abladen von Getreide) und
- Arbeit auf Baustellen

abgeleitet. Andere Quellen von Partikelemissionen in der Landwirtschaft, wie Tierhaltung, Abgasemissionen der Maschinen oder Bodenerosion, werden ausdrücklich nicht berücksichtigt.

Auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche werden neue Ansätze und Datengrundlagen dargestellt und die für das Emissionskataster in [IFEU 2004] vorgeschlagenen Emissionsfaktoren gegebenenfalls angepasst.

2 Landwirtschaft

In der Landwirtschaft entstehen Aufwirbelungs- und Abriebsemissionen bei einer Vielzahl von Prozessen. Der Fokus liegt hier auf dem Einsatz von mobilen landwirtschaftlichen Maschinen (v. a. Zugmaschinen und Mähdrescher). Staub entsteht sowohl bei Bewegung des Fahrzeugs (Reifen- und Bremsabrieb) als auch Kontakt zwischen Maschine und Untergrund bzw. pflanzlichem Material. Ein Teil dieses Staubes verbleibt bei solchen Prozessen als Feinstaub in der Luft. Dabei wird unterschieden zwischen Fahrten der Fahrzeuge zum Feld und der eigentlichen Arbeit auf dem Feld. Zusätzlich werden in dieser Aktualisierung Prozesse berücksichtigt, die nach der Ernte, zum Teil durch stationäre Geräte, erfolgen. Hierzu zählen unter anderem das Trocknen und Abladen des Getreides auf dem Gelände des landwirtschaftlichen Betriebes.

Die betrachteten Emissionsquellen lassen sich in zwei Gruppen aufteilen. Es werden zum einen die beim Befahren von Straßen und unbefestigten Feldwegen mit landwirtschaftlichen Maschinen verursachten Emissionen betrachtet. Dabei werden auf

- **befestigten Straßen** Reifen-, Brems- und Straßenabrieb sowie Wiederaufwirbelung von Partikeln von der Straßenoberfläche, und auf
- **unbefestigten Feldwegen** Aufwirbelung von Partikeln vom Boden

berücksichtigt. Zu anderen werden die Emissionen der mit Feldarbeit verbundenen Arbeitsschritte dargestellt. Hier werden

- der Erntevorgang,
- Bodenbearbeitung und
- Prozesse nach der Ernte (Reinigen, Trocknen, Abladen)

berücksichtigt.

Aktuelle Emissionsfaktoren zur Landwirtschaft liegen jetzt mit dem EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook ([EMEP/EEA 2009]) vor. Die Emissionsfaktoren des Ackerbaus sind hier erstmals in einem europäischen Handbuch für Emissionsinventare zusammengefasst.

Die Emissionsfaktoren der einzelnen Arbeitsschritte zeigen dabei große Bandbreiten, abhängig von der jeweiligen Messmethode bzw. den getroffenen Annahmen. Zur Ermittlung von Emissionsfaktoren werden meist Messergebnisse aus Feldversuchen verwendet, diese können jedoch stark variieren. Unter Berücksichtigung der jeweiligen Methodik der Untersuchung sind teilweise sehr differenzierte Annahmen zu treffen.

2.1 Nutzung von Straßen

Beim Befahren von Straßen durch landwirtschaftliche Fahrzeuge entstehen Partikelemissionen. Es werden Abriebsprozesse (Reifen-, Brems-, und Straßenabrieb) sowie die Aufwirbelung von Partikeln unterschieden und entsprechende Emissionsfaktoren in Gramm pro vom Fahrzeug zurück gelegten Kilometer abgeleitet.

2.1.1 Übersicht Emissionsfaktoren Nutzung von Straßen

Reifen-, Brems- und Kupplungsabrieb

Zur Ermittlung des Reifen- bzw. Bremsabriebs gibt es verschiedene Ansätze, z.B. Labormessungen, Sammlung von Partikeln aus der Außenluft und indirekte Ansätze, die den Gewichtsverlust des Rades bzw. der Bremse messen. Für den Bremsabrieb lässt sich die Bremssituation unter abgeschlossenen Laborbedingungen nachstellen, so dass die Ergebnisse hier geringere Unsicherheiten aufweisen.

In [IFEU 2004] wurden PM₁₀-Emissionsfaktoren für den Reifen-, Brems- und Kupplungsabrieb von Landmaschinen auf Basis von [BUWAL 2000] abgeleitet und darauf das PM_{2.5}/PM₁₀-Verhältnis aus [Lükewille et al. 2002] angewendet. Der Beitrag des Kupplungsabriebs ist dabei mit 2 mg PM₁₀ /km jedoch so gering, dass er hier vernachlässigt wird. Die Faktoren in [IFEU 2004] werden in Tab. 1 u. a. den Angaben des EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook ([EMEP/CORINAIR 2007]) gegenübergestellt.

In [EMEP/CORINAIR 2007] sind die Schwierigkeiten der Erfassung der Abriebemissionen ausführlich dargestellt und es wurden Emissionsfaktoren aus verschiedenen Quellen für schwere Nutzfahrzeuge interpoliert. Methodisch können dabei theoretisch verschiedenste Parameter berücksichtigt werden. Für die Berechnung der Emissionen kleiner, gut bekannter Flotten lässt sich also eine differenzierte Betrachtung vornehmen. Für die Berechnung der Emissionen eines ganzen Bundeslandes ist eine solche Differenzierung jedoch nicht praktikabel. Da für eine detaillierte Betrachtung differenzierte Annahmen zur Achsenzahl und der Beladung gemacht werden müssten, wurden in Tab. 1 die Werte einer einfachen Methodik aufgeführt.

Die PM₁₀-Emissionsfaktoren liegen beim Reifen- und Bremsabrieb in allen Quellen in derselben Größenordnung. Die Erfassung des Straßenabriebs ist besonders problematisch. Hier werden in [Lükewille et al. 2002] Daten angegeben, die auch in [EMEP/CORINAIR 2007] übernommen wurden.

Tab. 1: Übersicht Emissionsfaktoren für landwirtschaftlichen Verkehr auf befestigten Straßen ([mg/km]).

Emissionen in [mg/km]	[IFEU 2004]		[EMEP/CORINAIR 2007]		[Lükewille et al. 2002]	
	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}
Reifenabrieb	56	3	27	18,9	40	2
Bremsabrieb	31	10	32	12,7	23	7,1
Straßenabrieb	-	-	38*	20,9*	38	20,9
* basiert auf [Lükewille et al. 2002]						

Zusätzlich soll das PM_{2.5}/PM₁₀-Verhältnis näher betrachtet werden. In Tab. 2 sind als aktuelle Quellen die im RAINS-Modell ([Lükewille et al. 2002]) verwendeten und die im Emission Inventory Guidebook (EMEP/CORINAIR 2007) angegebenen Verhältniswerte der Partikelgrößenklassen aufgeführt. Große Abweichungen zwischen den verschiedenen Quellen finden sich in der Literatur insbesondere beim Reifenabrieb (siehe z.B. auch ältere Quellen wie [EPA 1995], [TNO 1997], [Rauterberg-Wulff 1999]). Hier hat die

Entscheidung für die Verwendung einer bestimmten Literaturquelle damit signifikanten Einfluss auf das Ergebnis.

Für den Bremsabrieb zeigen die Verhältniswerte deutlich geringere Abweichungen. Für den Straßenabrieb und dessen Größenverteilungen liegt nur eine Quelle vor ([Lükewille et al. 2002]), die jedoch wahrscheinlich mit Unsicherheiten behaftet ist ([EMEP/CORINAIR 2007]). Da nur in [Lükewille et al. 2002] alle Abriebsemissionen erfasst sind, werden im Folgenden (wie auch schon in [Lohmeyer 2004] und [IFEU 2004]) die dort ermittelten Emissionsfaktoren und $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältniswerte verwendet.

Tab. 2: Verhältnis der Partikelgrößenklassen für landwirtschaftlichen Verkehr auf befestigten Straßen ($PM_{2.5}/PM_{10}$).

$PM_{2.5}/PM_{10}$	[EMEP/CORINAIR 2007]	[Lükewille et al. 2002]	[MRI 2006]
Reifenabrieb	0,7	0,05	-
Bremsabrieb	0,4	0,3	-
Straßenabrieb	0,55*	0,55	-
Aufwirbelung	-	-	0,15
* basiert auf [Lükewille et al. 2002]			

Als weitere wichtige Emissionsquelle ist die Aufwirbelung von Staub zu berücksichtigen. Die Bestimmung des Emissionsfaktors dafür erfolgt indirekt, auf Basis von [Lohmeyer 2004]. Dort wird ein kombinierter Wert für Aufwirbelung und Abrieb der Verkehrssituation IO – LSA 2 (Innerortsverkehr mit Lichtsignalanlagen) angegeben. Dieser wird hier für die Landwirtschaft verwendet und der Reifen-, Brems- und Straßenabrieb abgezogen. Damit ergibt sich der in Tab. 3 aufgeführte Emissionsfaktor. Das Verhältnis von $PM_{2.5}$ zu PM_{10} des aufgewirbelten Straßenstaubes ist in [MRI 2006] angegeben (siehe Tab. 2). Der Wert beruht dabei auf eigenen Messungen des MRI, setzt jedoch einen geringen Feuchtegehalt ($\leq 1\%$) des Oberflächenmaterials voraus. Nähere Angaben dazu werden nicht gemacht.

2.1.2 Auswahl Emissionsfaktoren Nutzung von Straßen

In Tab. 3 werden die in [IFEU 2004] abgeleiteten Werte den aktualisierten Werten gegenübergestellt. Bezüglich der Abriebemissionen werden sowohl die Emissionsfaktoren als auch die $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältniswerte aus [Lükewille et al. 2002] übernommen, da nur dort alle Abriebsquellen erfasst sind. Damit ist die methodische Konsistenz der Werte gewährleistet. Der indirekt ermittelte Emissionsfaktor für Aufwirbelungsemissionen wird beibehalten.

Der aktualisierte PM_{10} -Emissionsfaktor für Verkehr auf befestigten Straßen beträgt damit 600 mg/km (siehe Tab. 3). Zur Ermittlung des $PM_{2.5}$ -Emissionsfaktors wurden für die verschiedenen Quellen spezifische $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältniswerte verwendet. Der aktualisierte $PM_{2.5}$ -Emissionsfaktor beträgt 105 mg/km.

Tab. 3: Auswahl der Emissionsfaktoren für Verkehr auf befestigter Straßen ([mg/km]).

Emission in [mg/km]	[IFEU 2004]		IFEU 2009		Quellen IFEU 2009
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	PM_{10}	$PM_{2.5}$	
Reifenabrieb	56	3	40	2	[Lükewille et al 2002]
Bremsabrieb	31	10	23	7,1	[Lükewille et al 2002]
Straßenabrieb			38	20,9	[Lükewille et al 2002]
Aufwirbelung			499	75	[Lohmeyer 2004], [Lükewille et al. 2002], [MRI 2006]
Straßenabrieb und Aufwirbelung	600				[Lohmeyer 2004]
Summe			600	105	

2.2 Nutzung von unbefestigten Feldwegen

Beim Befahren von unbefestigten Feldwegen entstehen vor allem Aufwirbelungsemissionen. Die Abriebemissionen sind demgegenüber vernachlässigbar gering, so dass hier nur die Aufwirbelungsemissionen berücksichtigt werden.

2.2.1 Übersicht Emissionsfaktoren Nutzung von unbefestigten Feldwegen

In [IFEU 2004] wurde der Emissionsfaktor auf Basis einer Formel der US 'Environmental Protection Agency' (EPA) von 1998 abgeleitet ([EPA 1998]). Ein weiterer Ansatz nach [Gillies 2003] wurde verworfen, da nur die Geschwindigkeit des Fahrzeugs als variabler Parameter in die Formel eingeht.

Die Formel der US EPA wurde mittlerweile weiter entwickelt und nach leichten und schweren Nutzfahrzeugen differenziert (siehe Formel 2.1 und 2.2). Die Gleichung für die leichten Nutzfahrzeuge gilt dabei für öffentlich zugängliche, unbefestigte Feldwege („public roads“), die für schwere Nutzfahrzeuge für unbefestigte Oberflächen industrieller Standorte („industrial roads“) [WRAP 2006a].

Die Berechnung der Emissionen in der von der US EPA entwickelten Formel erfolgt unter Berücksichtigung verschiedener Parameter, die die Emissionshöhe maßgeblich beeinflussen. Diese sind:

- Schluffgehalt des Untergrundes,
- Durchschnittliche Geschwindigkeit
- Feuchtigkeitsgehalt des Bodens
- Durchschnittsgewicht der Fahrzeuge

Zusätzlich wird wie in [IFEU 2004] die Anzahl der Regentage während eines Jahres als Korrekturfaktor zur Berücksichtigung der lokalen Niederschlagsverhältnisse angesetzt.

[EPA 2006] SNF: Verkehr von Schweren Nutzfahrzeugen auf Industriegeländen

$$EF PM_{10} [g/km] = 1,5 * (s/12)^{0,9} * (W/3)^{0,45} * 281,9 * (365-p/365) \quad (2.1)$$

s: Schluffgehalt des Bodens [%]

W: Durchschnittsgewicht der Fahrzeuge [t]

p: Anzahl Regentage pro Jahr

[EPA 2006] LNF: Verkehr von leichten Nutzfahrzeugen auf unbefestigten Feldwegen

$$EF PM_{10} [g/km] = (1,8 * (s/12)^1 * (v/30)^{0,5} * (365-p/365) * 281,9) / (M/0,5)^{0,2} \quad (2.2)$$

s: Schluffgehalt des Bodens [%]

v: Geschwindigkeit des Fahrzeugs [mph]

M: Feuchtigkeitsgehalt des Bodens [%]

p: Anzahl Regentage pro Jahr

Die Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen und anderen schweren mobilen Maschinen werden vor allem durch das Fahrzeuggewicht bestimmt. Für die Abschätzung der Emissionen schwerer Nutzfahrzeuge wird der Einfluss des Feuchtigkeitsgehalts der Straßenoberfläche daher nicht berücksichtigt. Bei leichten Nutzfahrzeugen (1,4-2,7 t), mit geringeren Unterschieden im Fahrzeuggewicht, nimmt die Bedeutung des Feuchtigkeitsgehalts der Straßenoberfläche zu ([WRAP 2006a]).

In Tab. 4 werden die aus Gleichung 2.1 und 2.2 errechneten Emissionsfaktoren und Verhältniswerte der Partikelgrößenklassen den in [IFEU 2004] ermittelten Werten gegenübergestellt. Die Berechnung beruht dabei weitgehend analog zu [IFEU 2004] auf folgenden Annahmen:

s: Schluffgehalt = 18%

W: Durchschnittsgewicht der Fahrzeuge = 5 t

v: Geschwindigkeit des Fahrzeugs = 5 km/h

M: Feuchtigkeitsgehalt des Bodens = 6 %

p: Anzahl Regentage = 177 ([LFULG 2009])

Die Abgrenzung der Regentage wurde hierbei gegenüber [IFEU 2004] korrigiert. Es werden nun alle Tage mit mehr als 0,1 mm Niederschlag pro m² als Regentage berücksichtigt. Die Anzahl an Regentagen liegt damit deutlich über der Angabe in [IFEU 2004].

2.2.2 Auswahl Emissionsfaktoren Nutzung von unbefestigten Feldwegen

Da landwirtschaftliche Zugmaschinen mit etwa 5 Tonnen Gewicht deutlich über den leichten Nutzfahrzeugen liegen und aufgrund der in [WRAP 2006a] beschriebenen starken Gewichtsabhängigkeit der Emissionen, wird die Gleichung für Schwere Nutzfahrzeuge für landwirtschaftliche Maschinen angesetzt. Als $PM_{2,5}/PM_{10}$ -Verhältniswert wird der in [MRI 2006] angegebene Wert von 0,1 verwendet (siehe Tab. 4). Die Annahmen zur Feuchte des Oberflächenmaterials gelten wie bei den befestigten Straßen (s. o.).

Der in [IFEU 2004] abgeleitete Emissionsfaktor liegt etwa in Höhe des mit der Formel für das Befahren von öffentlich zugänglichen, unbefestigten Straßen mit leichten Nutzfahrzeugen ermittelten Emissionsfaktors. Dies ist darauf zurück zu führen, dass die in [IFEU 2004] verwendete Formel große Ähnlichkeit mit der Gleichung 2.2 hat. Aufgrund des hohen Gewichts der Zugmaschinen erscheint deren Verwendung jedoch nicht mehr plausibel.

Der auf Basis der Gleichung 2.1 für Verkehr von schweren Nutzfahrzeugen auf Industriegeländen aktualisierte PM_{10} -Emissionsfaktor liegt etwa 4-mal höher als der in [IFEU 2004] abgeleitete Wert. Aufgrund des deutlich niedrigeren, aktualisierten $PM_{2,5}/PM_{10}$ -Verhältnisses liegt der aktualisierte $PM_{2,5}$ -Emissionsfaktor jedoch nur etwa 50% über dem Wert in [IFEU 2004].

Tab. 4: Auswahl der Emissionsfaktoren für Nutzung unbefestigter Feldwege ([g/km]).

Quelle	PM_{10} in [g/km]	$PM_{2,5}$ in [g/km]	Verhältnis $PM_{2,5}/PM_{10}$
[IFEU 2004]	105	27,7	0,27
[EPA 2006] SNF	412	41,2	0,1
[EPA 2006] LNF	77	7,7	0,1
IFEU 2009	412	41,2	0,1

2.3 Landwirtschaftliche Feldarbeit

Bei der Feldarbeit wurden bisher nur Bodenbearbeitung und Ernte berücksichtigt. Nun liegen auch Emissionsfaktoren zur Nachbearbeitung (Abladen, Trocknen etc.) vor, die ebenfalls berücksichtigt werden sollen. Bodenbearbeitung und Ernte haben dabei jedoch den größeren Anteil an den Partikelemissionen.

2.3.1 Übersicht Emissionsfaktoren Feldarbeit und Nachbearbeitung der Ernte

Es wird die Arbeit auf dem Feld und die Nachbearbeitung auf dem Hof betrachtet. Die Arbeit auf landwirtschaftlichen Flächen lässt sich in mehrere Schritte einteilen. Mithilfe von Maschinen wie Mähdrescher oder Traktor mit anhängendem Gerät wird die Bodenbearbeitung oder Ernte vollzogen. In der Nachbearbeitung (Reinigen und Trocknen) der Feldfrüchte werden Förderbänder und Trieure eingesetzt. Weitere Emissionen entstehen auf dem Hof beim Abladen der Feldfrüchte.

Zur Bodenbearbeitung wurde in [IFEU 2004] ein Ansatz des Air Resources Board von Kalifornien von 1997 ([CARB 1997]) einem Ansatz von [Batel 1979] gegenübergestellt. Für das Emissionskataster wurde der Ansatz von [Batel 1979] als geeigneter angesehen, da er auf Messungen in Deutschland beruht. Mit dem Ansatz lässt sich die

Gesamtpartikelemission berechnen, die Anteile von PM_{10} und $PM_{2.5}$ wurden aus [CARB 2000] übernommen. Dabei erfolgte keine Unterscheidung nach Getreidearten.

Insgesamt wurden in [IFEU 2004] große Unsicherheiten bezüglich des Emissionsfaktors für Feldarbeit festgestellt. Ein wichtiger Aspekt bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren ist der Anteil des in die Atmosphäre ausgetragenen Feinstaubes (PM_{10}) am gesamten aufgewirbelten Staub (siehe [Hinz & van der Hoek 2006]). Die durch Messungen erfassten Emissionen variieren deutlich. So zeigen [Oettl & Funk 2007], wie bei gleicher Art von Bodenbearbeitung auf derselben Testfläche, die Emissionen im Bereich von einer Größenordnung schwanken können. Die Faktoren Bodenfeuchte, Bodenbeschaffenheit und Feuchte des bearbeiteten Getreides beeinflussen dabei maßgeblich die Emissionen. [Winiwarter et al. 2007] schlagen deshalb vor, eine Grundbelastung bei feuchten Bedingungen zu ermitteln und dabei für die Emissionsfaktoren 10% der PM_{10} Emissionen als relevant für die Atmosphäre zu betrachten. Dabei können die Emissionen in besonders trockenen Jahren auf das bis zu zehnfache ansteigen.

Die aktuellste und umfassendste Ableitung von Emissionsfaktoren liegt nun durch das EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook vor ([EMEP/EEA 2009]). Darin werden Emissionsfaktoren sowohl für PM_{10} als auch für $PM_{2.5}$, sowie nach Getreidearten und Prozessen (Bodenbearbeitung, Ernte, Trocknung und Reinigung) differenziert ausgewiesen (siehe Tab. 5). Für andere Feldfrüchte und Gras wird nur ein Bodenbearbeitungsfaktor angegeben, für Gras zusätzlich ein Ernteemissionsfaktor. Die unterschiedlichen Prozesse der Bodenbearbeitung („soil cultivation“), wie z.B. Pflügen oder Eggen, werden in einem einzigen Emissionsfaktor zusammengefasst.

Die Emissionsfaktoren in [EMEP/EEA 2009] gehen auf [Hinz & van der Hoek 2007] zurück. Die dort beschriebenen Werte entsprechen den Emissionen im direkten Umfeld der Traktoren bzw. Erntemaschinen. Für feuchte Bedingungen wurde wie auch von [Winiwarter et al. 2007] angenommen, dass nur 10 % der bei der Ernte primär emittierten PM_{10} -Emissionen das Feld verlässt. Die Werte in Tab. 5 gelten damit für „feuchte Klimakonditionen“, d.h. alle Klimate Europas außer dem mediterranen Raum. Der PM_{10} -Emissionsfaktor für die Bodenbearbeitung wurde zusätzlich mit verschiedenen Ansätzen (z.B. [Wathes et al. 2002]) verglichen und nach Korrekturen auf 0,25 kg/ha festgelegt.

In Tab. 6 sind die die $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältnisse für die berücksichtigten Prozesse nach [EMEP/EEA 2009] aufgeführt und werden Angaben aus anderen Quellen gegenübergestellt. Im Vergleich zu [EMEP/EEA 2009] sind die Werte aus [MRI 2006] deutlich höher. Diese Werte wurden jedoch für den Western Regional Air Partnership (WRAP) ermittelt und gelten für eine niedrige Bodenfeuchte von 1 % oder weniger. [Oettl et al. 2005] erzielten bei Feinstaubmessungen der Bodenbearbeitungsprozesse Pflügen und Eggen in Müncheberg $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältnisswerte von 0,04 bzw. 0,08. Dies unterstützt die Annahme der niedrigen Verhältnisswerte in der Bodenbearbeitung. Daher sollte das deutlich niedrigere $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältnis in [EMEP/EEA 2009] übernommen werden. Die von [Oettl et al. 2005] gemessenen Emissionen lagen dabei im Bereich von 1,2 bzw. 1,37 kg PM_{10} /ha. Da der Emissionsfaktor in [EMEP/EEA 2009] nur 10% der gemessenen Emissionen berücksichtigt, ist die Größenordnung der gemessenen Emissionen ebenfalls vergleichbar.

Tab. 5: Übersicht der EEA Emissionsfaktoren für Feldarbeit ([kg/ha]).

Emissionsfaktoren PM ₁₀ [kg/ha]				
Feldfrucht	Bodenbearbeitung	Ernte	Reinigen	Trocknen
Weizen	0,25	0,49	0,19	0,56
Roggen	0,25	0,37	0,16	0,37
Gerste	0,25	0,41	0,16	0,43
Hafer	0,25	0,62	0,25	0,66
Andere	0,25	NA	NA	NA
Gras	0,25	0,25	0	0
Emissionsfaktoren PM _{2,5} [kg/ha]				
Feldfrucht	Bodenbearbeitung	Ernte	Reinigen	Trocknen
Weizen	0,015	0,02	0,009	0,168
Roggen	0,015	0,015	0,008	0,111
Gerste	0,015	0,016	0,008	0,129
Hafer	0,015	0,025	0,0125	0,198
Andere	0,015	NA	NA	NA
Gras	0,015	0,01	0	0

Quelle: [EMEP/EEA 2009]

Tab. 6: Verhältnis der Partikelgrößenklassen für Feldarbeit ([PM_{2,5}/PM₁₀]).

Quelle	Soil cultivation	Harvesting	Cleaning	Drying
[EMEP/EEA 2009]	0,06	0,04	0,05	0,3
EPA AP42 zitiert in [MRI 2006]	0,22	0,22	-	-
[MRI 2006]	0,2	0,2	-	-
IFEU 2009	0,06	0,04	0,05	0,3

2.3.2 Auswahl Emissionsfaktoren Feldarbeit und Nachbearbeitung der Ernte

Aufgrund ihrer hohen Differenzierung und der Eignung für Mitteleuropa sollten die aktuellen Emissionsfaktoren in [EMEP/EEA 2009] verwendet werden. Für einen Gesamtfaktor für die Feldarbeit müssen die verschiedenen Prozessschritte addiert werden. Die Bodenbearbeitung wird dabei doppelt berücksichtigt. Lediglich bei der Heugewinnung ist keine Bodenbearbeitung erforderlich. Der Gesamtemissionsfaktor pro ha und Jahr (EF(Gesamt)) für Feldarbeit ergibt sich damit für die verschiedenen Größenklassen (PM_x) als:

$$EF_{PM_x}(\text{Gesamt}) = 2 \times EF_{PM_x}(\text{Boden}) + EF_{PM_x}(\text{Ernte}) + EF_{PM_x}(\text{Trocknung}) + EF_{PM_x}(\text{Reinigung}) \quad (2.3)$$

Die Gesamtemissionsfaktoren für Feldarbeit sind in Tab. 7 und 8 aufgeführt und werden den in [IFEU 2004] abgeleiteten Faktoren gegenübergestellt. Der aktualisierte Emissionsfaktor für PM₁₀ liegt etwas höher als der bisherige Wert, da zusätzliche Prozesse berücksichtigt wurden. Der aktualisierte PM_{2,5}-Emissionsfaktor („IFEU 2009

Gesamt \emptyset) ist dagegen etwas niedriger als in [IFEU 2004] ermittelt, da die aktualisierten $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältnisse deutlich niedriger liegen.

Die Berechnung der Gesamtemissionen hängt von der Differenzierung der Daten zur Ackerfläche ab. So ist denkbar, bei entsprechender Datenlage die feldfruchtspezifischen Faktoren zu verwenden. Liegen derartige Daten nicht vor, kann auch ein durchschnittlicher Faktor angesetzt werden („IFEU 2009 Gesamt \emptyset “). Aufgrund der begrenzten Abweichung zwischen den Feldfrüchten können die dadurch entstehenden Unsicherheiten gegenüber den Gesamtunsicherheiten wahrscheinlich vernachlässigt werden.

Tab. 7: Zusammenfassung PM_{10} -Emissionsfaktoren für Feldarbeit ([kg PM_{10} /ha]).

	IFEU 2004	IFEU 2009	IFEU 2009	IFEU 2009	Anmerkung
	2*Bo + Er	2*Bo + Er	Gesamt	Gesamt \emptyset	
Weizen	1,36	0,99	1,74	1,67	
Roggen		0,87	1,4		
Gerste		0,91	1,5		
Hafer		1,12	2,03		
Andere Feldfrucht		-	0,25		nur Bo
Gras		-	0,5		nur Bo + Er
Er = Ernte, Bo = Bodenbearbeitung, Tr =Trocknen, Re = Reinigen Gesamt = Summe aus Er, Bo, Tr und Re					

Tab. 8: Zusammenfassung $PM_{2.5}$ -Emissionsfaktoren für Feldarbeit ([kg $PM_{2.5}$ /ha]).

	IFEU 2004	IFEU 2009	IFEU 2009	IFEU 2009	Anmerkung
	2*Bo + Er	2*Bo + Er	Gesamt	Gesamt \emptyset	
Weizen	0,30	0,05	0,227	0,21	
Roggen		0,045	0,164		
Gerste		0,046	0,183		
Hafer		0,055	0,265		
Andere Feldfrucht			0,015		nur Bo
Gras			0,025		nur Bo + 1*Er
Er = Ernte, Bo = Bodenbearbeitung, Tr =Trocknen, Re = Reinigen Gesamt = Summe aus Er, Bo, Tr und Re					

2.4 Überblick Landwirtschaft

Die PM_{10} -Emissionen durch **landwirtschaftlichen Verkehr auf befestigten Straßen** betragen in der Summe deutlich weniger als 1 g/km. Der **Verkehr auf unbefestigten Feldwegen** dagegen verursacht pro km eine PM_{10} -Emission von 412 g, liegt also mehr als 2 Größenordnungen höher. Der aktualisierte PM_{10} -Emissionsfaktor für Verkehr auf unbefestigten Feldwegen nach der aktuellen EPA-Formel ist etwa viermal höher als in [IFEU 2004] abgeleitet. Trotz eines niedrigeren $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältnisses liegt der $PM_{2.5}$ -Emissionsfaktor damit noch über dem in [IFEU 2004] abgeleiteten Faktor.

Für die **Feldbearbeitung** können nun gegenüber 2004 differenziertere Emissionsfaktoren berücksichtigt werden. So werden vier Getreidearten unterschieden und zusätzlich Prozesse der Nachbearbeitung erfasst. Die Emissionsfaktoren liegen sowohl für PM_{10} als auch für $PM_{2,5}$ in der derselben Größenordnung wie in [IFEU 2004].

Zur Berechnung der Gesamtemissionen in der Landwirtschaft müssen folgende Aktivitäts- bzw. Flächendaten vorliegen:

- Von landwirtschaftlichen Fahrzeugen zurückgelegte Kilometer sowohl auf Straßen als auch auf unbefestigten Feldwegen
- Die landwirtschaftlich genutzte Fläche, möglichst differenziert nach Getreidearten bzw. dort angebauter Feldfrucht

Das statistische Landesamt Sachsen erhebt in einem statistischen Bericht Daten zur Bodennutzung in landwirtschaftlichen Betrieben [siehe STALA 2009a]. Dort wird die landwirtschaftlich genutzte Fläche, aufgeteilt nach Nutzungsarten wie Ackerland, Dauergrünland, Obstanlagen u.a. aufgeführt. Für als Ackerland genutzte Flächen liegt eine Differenzierung in Getreidearten und Feldfruchttypen vor. Diese Daten können zur Berechnung herangezogen werden. Zur Abschätzung der von landwirtschaftlichen Fahrzeugen zurückgelegten Kilometer auf Hektar-Basis kann auf die Annahmen in [IFEU 2004] zurückgegriffen werden. Basierend auf [LFULG 2004] beträgt die pro Hektar und Arbeitsgang zurückzulegende Entfernung 0,17 km, wobei 12,5 Arbeitsgänge pro Jahr angesetzt werden. Darunter befinden sich dann auch Arbeitsgänge die keine Feldarbeit im Sinne der oben berücksichtigten Prozesse darstellen (Düngung, Pestizidausbringung, etc.). Aufgrund fehlender Daten wird angenommen, dass die Wegstrecke zur einen Hälfte auf befestigten Straßen und zur anderen Hälfte auf unbefestigten Feldwegen zurückgelegt wird.

2.5 Beispielrechnung Landwirtschaft

Um eine Übersicht über die Anteile der Emissionen durch die Feldarbeit und die Nutzung von Straßen und unbefestigten Feldwegen zu erhalten, wird auf Basis von Zahlen aus dem Bericht des Statistischen Landesamtes „Bodennutzung in den landwirtschaftlichen Betrieben im Freistaat Sachsen – integrierte Erhebung“ [STALA 2009a] aus dem Jahr 2009 eine erste Berechnung für das Jahr 2008 durchgeführt.

Es werden die in Tier 2 der [EMEP/EEA 2009] aufgeführten differenzierten Emissionsfaktoren für Feldarbeit verwendet, soweit sie anwendbar sind. Für die nicht zuzuordnende Ackerfläche (siehe Andere Feldfrüchte) wird hier der Default-Wert laut Tier 1 angewendet, da in Tier 2 für „Andere Feldfrucht“ nur ein Emissionsfaktor für die Bodenbearbeitung zur Verfügung steht. Als Besonderheit wird der Grasanbau auf Ackerland separat aufgeführt.

In **Tab. 9** sind die Ergebnisse der Berechnungen zur Feldarbeit aufgeführt. Im Vergleich zum Nationalen Emissionsbericht (NIR) in dem der Default-Wert aus Tier 1 der [EMEP/EEA 2009] zur Berechnung herangezogen wurde, liegt die PM_{10} -Emission nur um 1,3% niedriger. Dagegen sind die $PM_{2,5}$ -Emissionen laut NIR über 50% geringer. Dies ist mit dem Default-Wert der Tier 1 zu erklären, der je nach Feldfrucht bis zu 80% niedriger ist, als die in Tier 2 aufgeführten spezifischen Faktoren.

Zusätzlich zu den Emissionen vom Ackerland, die in der Berechnung des NIR ausschließlich berücksichtigt werden, wird für den Flächentyp „Dauergrünland – Mähweide“ der Emissionsfaktor für die Grasernte (Mahd) aus Tier 2 angewendet.

Tab. 9: Beispielrechnung für die Emissionen aus der Feldarbeit

Feldarbeit							
Flächentyp	Fläche (ha)	PM ₁₀ -Emissionsfaktor (kg/ha)	PM _{2,5} -Emissionsfaktor (kg/ha)	PM ₁₀ Jährliche Emissionen (t)	PM _{2,5} Jährliche Emissionen (t)	Quelle Emissionsfaktor	Bemerkung
Weizen	191904	1,74	0,227	333,9	43,6	Tier 2	
Roggen	42648	1,4	0,164	59,7	7,0	Tier 2	
Gerste	145176	1,5	0,183	217,8	26,6	Tier 2	
Hafer	11543	2,03	0,265	23,4	3,1	Tier 2	
Feldgras / Grasanbau auf Ackerland	29839	0,5	0,025	14,9	0,7	Tier 2	1)
Andere Feldfrüchte	299484	1,56	0,06	467,2	18,0	Tier 1	2)
Dauergrünland - Mähweide	111177	0,25	0,01	27,8	1,1	Grasernte aus Tier 2	3)
Ackerland gesamt	720594			1116,9	98,9		
Ackerland und Dauergrünland und Mähweide	831771			1144,7	100,0		
NIR 2009				1131,1	43,5	Tier 1	
1) Setzt sich zusammen aus Bodenbearbeitung (0,25 kg/ha) Ernte (0,25 kg/ha) im Tier							
2) Verwendung des Default-Wert der Tier 1 wie in NIR							
3) Dies ist kein Ackerland. In NIR nicht berücksichtigt.							

In Tab. 10 sind die, durch die Fahrten zum Feld verursachten, Emissionen aufgeführt. Die pro Arbeitsgang zurückgelegte Entfernung beträgt im Durchschnitt 0,17 km/ha [LFUG 2004]. Bei 12,5 durchschnittlich jährlich durchgeführten Arbeitsvorgängen auf Ackerland und 6 auf „Dauergrünland – Mähweide“, ergeben je ca. 1,5 Mio. km bzw. ca. 110000 km Fahrleistung.

Aufgrund des höheren Emissionsfaktors für PM₁₀ sind die Emissionen durch das Befahren von Feldwegen und Straßen ca. viermal so hoch wie in IFEU 2004 abgeschätzt. Die PM_{2,5}-Emissionen liegen in der gleichen Größenordnung wie in IFEU 2004.

Tab. 10: Emissionen durch das Befahren von unbefestigten Feldwegen und Straßen bei der Feldarbeit

Flächentyp	Fläche (ha)	Fraktion	Fahrten Anzahl	Fahrtenlänge (km)	Aktivität (km)	Emissionsfaktor (g/km)	Jährliche Emissionen (t)
Ackerfläche	720594	PM10	12,5	0,17	1531262	206,3	315,9
Dauergrünland	111177	PM10	6	0,17	113400	206,3	23,4
Ackerfläche	720594	PM2.5	12,5	0,17	1531262	20,7	31,6
Dauergrünland	111177	PM2.5	6	0,17	113400	20,7	2,3

3 Bauwirtschaft

In der Bauwirtschaft werden Emissionen aus Arbeitsvorgängen im Hoch- und im Tiefbau betrachtet. Im Hochbau werden dabei unterschiedliche Gebäudetypen unterschieden, während im Tiefbau ausschließlich der Neubau von Straßen betrachtet wird. Es werden Emissionsfaktoren für die nicht-auspuffbedingten Partikelemissionen, die durch Abrieb und Aufwirbelungen beim Betrieb von Maschinen auf Baustellen entstehen, abgeleitet. Emissionen werden im Bauprozess vor allem durch Erdbewegungen und Befahren von nicht befestigten Flächen verursacht.

In [IFEU 2004] wurden zwei verschiedene Methoden zur Emissionsberechnung vorgestellt. Es handelte sich dabei um einen Ansatz mit flächenabhängigen (pro ha Baustellenfläche und Monat) bzw. aktivitätsabhängigen (pro h Maschineneinsatz) Emissionsfaktoren. Für das Emissionskataster eines ganzen Bundeslandes wurde der aktivitätsabhängige Ansatz als wenig praktikabel angesehen. Deshalb wurde der flächenabhängige Ansatz der [EPA 2001] verfolgt. Dieser wird mit wenigen Änderungen auch in dieser Aktualisierung übernommen. Das jeweilige $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältnis der dort erfassten Staubemissionen wurde 2006 durch Forschungen des Midwest Research Institute aktualisiert ([MRI 2006]).

Die wichtigste aktuelle Datengrundlage ist das Kapitel 3 des Fugitive Dust Handbook ([WRAP 2006b]) des Western Regional Air Partnership (WRAP). Die Methodik zur Berechnung von Emissionen durch Arbeitsprozesse im Baubereich wurde darin aus [MRI 1999] übernommen und entspricht weitgehend der in [IFEU 2004] verwendeten Methodik der [EPA 2001]. Zusätzlich werden in [WRAP 2006b] jedoch neue Untersuchungen zu Parametern mit großem Einfluss auf die Emissionsfaktoren und neue $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältnismerte berücksichtigt. Die folgenden Ausführungen basieren daher weitgehend auf dem Kapitel 3 des Fugitive Dust Handbook.

3.1 Übersicht Emissionsfaktoren Hochbau

Im Hochbau werden die Gebäudekategorien Wohngebäude und Nichtwohngebäude unterschieden. Nach [WRAP 2006b] erfolgt die Berechnung der Emissionen im Hochbau durch:

$$\text{Emission [t PM}_{10}\text{]} = \text{EF [PM}_{10}\text{/ha/Monat]} * \text{Anzahl} * \text{Fläche} * \text{Baudauer} \quad (3.1)$$

Anzahl = Anzahl der entsprechenden Gebäude

Fläche = Durch den Bau betroffene Fläche pro Gebäude (in ha)

Baudauer = Baudauer (in Monaten)

Die Emissionsfaktoren in [WRAP 2006b] entsprechen im Wesentlichen denen in [IFEU 2004], dort wurde jedoch für Nichtwohngebäude der gleiche Emissionsfaktor wie für Apartments angenommen. In [WRAP 2006b] wird dagegen für Nichtwohngebäude ein separater Emissionsfaktor ausgewiesen. Dieser setzt sich zu einem Viertel aus dem „worst case“ EF für Schwere Erdbewegungen (0,94 t/ha/Monat) und zu drei Vierteln aus dem EF für Apartmentgebäudebau zusammen.

Tab. 11: Übersicht Emissionsfaktoren im Hochbau ([t PM₁₀/ha/Monat])

	[IFEU 2004]	[WRAP 2006b]
Wohnhäuser	0,07	0,07
Apartments	0,25	0,25
Nichtwohngebäude	0,25	0,43

Für die Berechnung der Emissionsmenge sind über den Emissionsfaktor hinaus auch die pro Gebäude betroffene Fläche (in ha) und die Baudauer (in Monaten) von entscheidender Bedeutung. Die betroffene Fläche wurde in [IFEU 2004] über die Anzahl der Neubauten abgeschätzt. Alternativ kann nach [WRAP 2006b] für Apartment- und Nichtwohngebäude die Fläche auch auf Basis der Baukosten abgeschätzt werden, wenn diese Daten zur Verfügung stehen. Für die USA gilt demnach ein Flächenwert von 6000 m²/Mio. Dollar (bezogen auf den Dollarwert von 2004).

Wegen der Schwierigkeiten bei der Übertragung des Flächenwerts auf deutsche Verhältnisse wird vorgeschlagen, die beeinträchtigte Fläche wie in [IFEU 2004] auf Basis der Anzahl der Gebäude abzuschätzen. Die Angaben zur Grundfläche der Gebäude aus den USA sind kaum auf Deutschland übertragbar. Es wird daher vorgeschlagen, die Annahmen in [IFEU 2004] weitgehend beizubehalten (s. u.).

3.2 Übersicht Emissionsfaktoren Straßenbau

Im Straßenbau wird der Neubau von Straßen betrachtet; Ausbesserungsarbeiten werden nicht berücksichtigt. Hierbei wird angenommen, dass beim Straßenbau Partikelemissionen vor allem bei Erdbewegungen entstehen. Der Anteil von Erdbewegungen ist bei Reparaturen an Straßen dagegen gering. Es wird folglich entsprechend den Empfehlungen in [WRAP 2006b] der Emissionsfaktor für Schwere Erdbewegungen (0,94 t/ ha/ Monat) verwendet. Da in Deutschland nur noch wenige Straßen neu gebaut werden, ist der aktuelle Beitrag der Emissionen aus dem Straßenbau zu den Gesamtemissionen wahrscheinlich sehr klein. Die Berechnung der Emissionen wird folgendermaßen durchgeführt:

$$\text{Emission [t PM}_{10}] = \text{EF [t PM}_{10}/\text{ha/Monat]} * M * f * d \quad (3.4)$$

M = km neu gebaute Straße

f = ha betroffene Fläche pro km

d = Dauer der Straßenbauaktivitäten in Monaten

Der Wert f ergibt sich dabei aus der Multiplikation von Breite und Länge der neu gebauten Straße. In [IFEU 2004] wurde jeweils eine Baustellenbreite von 5 m auf Staats- und Kreisstraßen und 10 m auf Bundesautobahnen und Bundesstraßen angenommen. Zusätzlich sollte zu dieser Breite noch ein Streifen von 1 m auf beiden Seiten der Straße addiert werden, da von schweren Bauarbeiten letztendlich mehr als die asphaltierte Straßenfläche betroffen ist. Außerdem werden oft zusätzlich Böschungen, Gräben etc. am Rand der Straße errichtet, was einer zusätzlichen Flächenbelastung entspricht.

Ferner wurde in [IFEU 2004] davon ausgegangen, dass die Arbeiten im Straßenbau nicht die ganze Straßenlänge permanent durch schwere Erdbewegungen beeinträchtigen. Die Erdbewegungen werden im Laufe des Projektes entlang der zu bauenden Straße verlagert, so dass die einzelnen Abschnitte deutlich kürzer bearbeitet werden. Da Straßenbauprojekte häufig mehrere Jahre dauern, würden die Emissionen durch die

Nichtauspuffbedingte Partikelemissionen von Maschinen und Geräten in Land- und Bauwirtschaft

komplette Anrechnung der Projektlaufzeit auf die gesamte Straßenlänge wahrscheinlich deutlich überschätzt. Als durchschnittlich relevante Baudauer mit schweren Erdbewegungen wird deshalb wie in [IFEU 2004] 1 Monat angenommen, da auch aktuelle Nachfragen bei Baufirmen keine genaueren Informationen ergeben haben. Die durchschnittliche Aktivitätsdauer im Straßenbau kann den Baufirmen zufolge kaum angegeben werden, da sie stark abhängig von den Gegebenheiten (Witterung/Morphologie/Bodenart etc.) ist.

3.3 Überblick und Beispielrechnung Bauwirtschaft

In der Bauwirtschaft wird die Methodik der U.S. EPA zur Erfassung der Emissionen beibehalten. Der Emissionsfaktor wird in $t\ PM_{10}/ha\ Monat$ angegeben. Die Baudauer und die durch den Bau betroffene Fläche sind damit wichtige Parameter für die Berechnung der Gesamtemissionen.

Gegenüber 2004 hat sich der PM_{10} -Emissionsfaktor bei Nichtwohngebäuden und im Straßenbau deutlich erhöht. Im Straßenbau ist dies durch die Annahme begründet, dass für die Emissionen fast ausschließlich die schweren Erdbewegungen verantwortlich sind. Aufgrund der Absenkung des $PM_{2,5}/PM_{10}$ -Verhältnisses auf 0,1 (nach [MRI 2006]) sind die $PM_{2,5}$ -Emissionsfaktoren dieser Bereiche jedoch niedriger als 2004 abgeleitet.

Aktivitätsdaten zur Bauwirtschaft (Wohnfläche, Nutzfläche) wurden dem Datenblatt „Bauen und Wohnen 2009“ des „Statistischen Landesamtes des Freistaates Sachsen“ [STALA 2009b] entnommen. Nach der dort angegebenen Anzahl der Wohnungen in den fertiggestellten Gebäuden wurde der Emissionsfaktor ‚Wohnhäuser‘ für Gebäude mit ein und zwei Wohnungen und der Emissionsfaktor ‚Apartments‘ für Gebäude mit drei oder mehr Wohnungen verwendet.

Die Abwicklungsdauer orientiert sich an den Angaben in IFEU 2004 und wird nach Ein- und Zweifamilienhäuser, Mehrfamilienhäusern und Nichtwohngebäuden unterschieden. Auch eine Baudauer über 12 Monate wird komplett dem Bezugsjahr der Fertigstellung zugeordnet. Bezüglich der betroffenen Fläche wird davon ausgegangen, dass sich die Wohn- bzw. Nutzfläche durchschnittlich auf 2 Stockwerke verteilt und die Baustellenfläche das 1,2 fache der Grundfläche des Hauses einnimmt.

Tab. 12: Beispielrechnung für die Emissionen aus der Gebäudekonstruktion

Gebäudetyp	Wohnfläche bzw. Nutzfläche	Betroffene Fläche	Baudauer	Emissionen (t)	Emissionen (t)
	m ²	m ²	Monat	PM ₁₀	PM _{2,5}
Wohnfläche gesamt	452600				
Wohnhäuser	356285	213771	14	10,5	1,1
Apartments	96315	57789	17	12,3	1,2
Nichtwohngebäude	1107700	664620	12	167,5	16,8

Für den Straßenbau liegen bisher keine Daten für 2009 vor. Im Vergleich zur Berechnungsmethode 2004 vergrößert sich die als betroffen angenommene Fläche um jeweils einen Meter an beiden Fahrbahnrandern (siehe oben). Dies führt in Verbindung

mit dem höheren neu abgeleiteten Emissionsfaktor zu einer höheren PM₁₀-Gesamtemission. Hingegen wird durch den niedrigeren aktuellen PM_{2.5}-Emissionsfaktor die PM_{2.5}-Gesamtemission niedriger abgeschätzt.

In der Bauwirtschaft dominieren die Emissionen aus der Gebäudekonstruktion deutlich gegenüber dem Straßenneubau. Der Straßenneubau ist gegenüber 2009 wahrscheinlich sogar zurückgegangen. Daten für die Instandsetzungen an Straßen konnten nicht ermittelt werden, da für unterschiedliche Straßen als Baulastträger Bund, Land und Kommunen verantwortlich sind, und diese in sehr unterschiedlicher Weise den Straßenzustand erfassen. Daher ist keine zuverlässige Aussage zu den Ausmaßen der Straßenausbesserungen zu treffen. Auch unter Verwendung der neuen Emissionsfaktoren sind die Emissionen aus der Bauwirtschaft deutlich geringer als in der Landwirtschaft.

Tab. 13: Beispielrechnung für die Emissionen aus dem Straßenneubau

Straßentyp	Neubaulänge (km) [LFULG 2004]	Baudauer	Betroffene Fläche (m²)	PM10-Emissionen (t)	PM2.5-Emissionen (t)
Bundesautobahn	10	1 Monat	120000	5,64	0,56
Bundesstraße	13	1 Monat	156000	7,33	0,73
Staatsstraße	12	1 Monat	144000	6,77	0,68
Kreisstraße	5	1 Monat	60000	2,82	0,28
Gesamt	40		480000	22,56	2,26

4 Zusammenfassung

Die Emissionsfaktoren für nichtauspuffbedingten Partikelemissionen von Maschinen und Geräten in der Land- und Bauwirtschaft wurden auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche aktualisiert.

Wichtige Änderungen

Deutliche Änderungen ergeben sich im Bereich Landwirtschaft vor allem bei den Partikelemissionen durch Aufwirbelung auf unbefestigten Feldwegen und für die Feldarbeit. So liegt der aktualisierte PM_{10} -Emissionsfaktor für die Nutzung unbefestigter Feldwege nun etwa 4-mal höher als 2004 abgeschätzt. Aufgrund des gegenüber der 2004er-Studie geringeren $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältnisses liegt der $PM_{2.5}$ -Emissionsfaktor jedoch nur etwa 50% höher als bisher ermittelt.

Auch der für Feldarbeiten ermittelte Emissionsfaktor für PM_{10} liegt nun etwas höher. Dies ist vor allem durch die Berücksichtigung weiterer Prozesse begründet. Wegen des geringeren $PM_{2.5}/PM_{10}$ -Verhältnisses liegt hier der $PM_{2.5}$ -Emissionsfaktor unter dem 2004 abgeleiteten Wert.

In der Bauwirtschaft wurden für den Bau von Straßen und Nichtwohngebäuden höhere PM_{10} -Emissionsfaktoren abgeleitet als bisher. Auch hier liegen die $PM_{2.5}$ -Emissionsfaktoren jedoch unter den bisher ermittelten Werten, da auf Basis neuer Erkenntnisse ein geringerer Anteil von $PM_{2.5}$ an PM_{10} angesetzt wurde.

Unsicherheiten

Messtechnisch und methodisch bleibt die präzise Ermittlung diffuser Staubemissionen schwierig. Durch die Aktualisierung konnten die Emissionsfaktoren aber auf eine breitere Grundlage gestellt werden als bisher. Mit der Darstellung der landwirtschaftlichen Feldarbeit in [EMEP/EEA 2009] liegen nun für Europa einheitliche Emissionsfaktoren vor. Die abgeleiteten Faktoren beinhalten jedoch zahlreiche Annahmen und basieren auf Werten aus wenigen Feldmessungen.

Es verbleiben also Unsicherheiten, in der Größenordnung wurden die bisher abgeleiteten Emissionsfaktoren jedoch bestätigt. Darüber hinaus müssen in der Anwendung aber auch zusätzliche vereinfachende Annahmen gemacht werden, deren Unsicherheiten oft mit den Unsicherheiten bei den Emissionsfaktoren selbst vergleichbar sind. So konnten die Emissionsfaktoren für die betrachteten Bereiche in einigen Fällen – wie z.B. beim Verkehr auf unbefestigten Feldwegen - nur über Analogieschlüsse aus anderen Bereichen ermittelt werden.

In anderen Bereichen, wie z.B. der Bauwirtschaft hängen die Gesamtemissionen wiederum entscheidend von zusätzlichen Annahmen zur durchschnittlichen Baustellenfläche und zur durchschnittlichen Baudauer ab. Letztere kann insbesondere im Straßenbau kaum konsistent angegeben werden. Die Bedeutung des Straßenneubaus nimmt jedoch immer weiter ab, so dass diese Unsicherheit in der Gesamtbilanz nur noch wenig ins Gewicht fällt.

So können die dargestellten Emissionsfaktoren trotz der beschriebenen Unsicherheiten helfen, die mengenmäßige Bedeutung des Beitrags der Land- und Bauwirtschaft zu den Gesamtemissionen einzuordnen.

5 Literaturverzeichnis

- [APEG 1999] Source Apportionment of Airborne Particulate Matter in the United Kingdom. Airborne Particles Expert Group, Department of the Environment, Transport and the Regions. London 1999.
- [BUWAL 2000] PM₁₀-Emissionsfaktoren: Mechanischer Abrieb im Offroad-Bereich. Carbotech AG. Basel 2000.
- [Batel 1979] W. Batel: Staubbelastung und Staubzusammensetzung an Arbeitsplätzen der landwirtschaftlichen Produktion und daraus abzuleitende Belastungsgrenzen und Staubschutzmaßnahmen. Grundlagen der Landtechnik, Bd. 29, Nr. 2 (41-55).
- [CARB 1997] Area source methodologies. Section 7.4: Agricultural land preparation. California Air Resources Board. Sacramento 1997.
- [CARB 2000] California Emission Inventory and reporting system (CEIDARS) - Particulate Matter (PM) Speciation Profiles - Summary of overall size fractions and reference documentation. California Air Resources Board. Sacramento 2000.
- [DWD 2002] Deutscher Wetterdienst: Auswertung von Klimadaten ausgewählter deutscher Stationen. Abruf im Internet 2002.
- [EMEP/CORINAIR 2007] L. Ntziachristos: EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook. Group 7: Road transport SNAP 0707 und 0708. Kopenhagen 2003.
- [EMEP/EEA 2009] N. Hutchings, J. Webb und B. Amon: EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook. Technical report 2009, Part B Chapter 4.D: Crop production and agricultural soils. Kopenhagen 2009.
- [EPA 1995] Compilation of Air Pollutant Emission Factors, U.S. EPA Report AP-42, Volume I. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. 1995.
- [EPA 1998] Compilation of Air pollutant Emission Factors. Vol. I: Stationary and area sources. AP42. Section 13.2.2. Unpaved roads. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. 1998.
- [EPA 2001] Procedures Document for National Emissions Inventory, Criteria Air Pollutants 1985-1999. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. 2001.
- [EPA 2006] Compilation of Air pollutant Emission Factors. Vol. I: Stationary and area sources. AP42. Section 13.2.2. Unpaved roads. U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. 2006.
- [Gillies 2003] J. A. Gillies et al.: Effect of Vehicle Characteristics on Unpaved Road Dust Emissions. In: R. Joumard (Hrsg.): Proceedings of the Conference 'Transport and Air Pollution'. Avignon 2003.