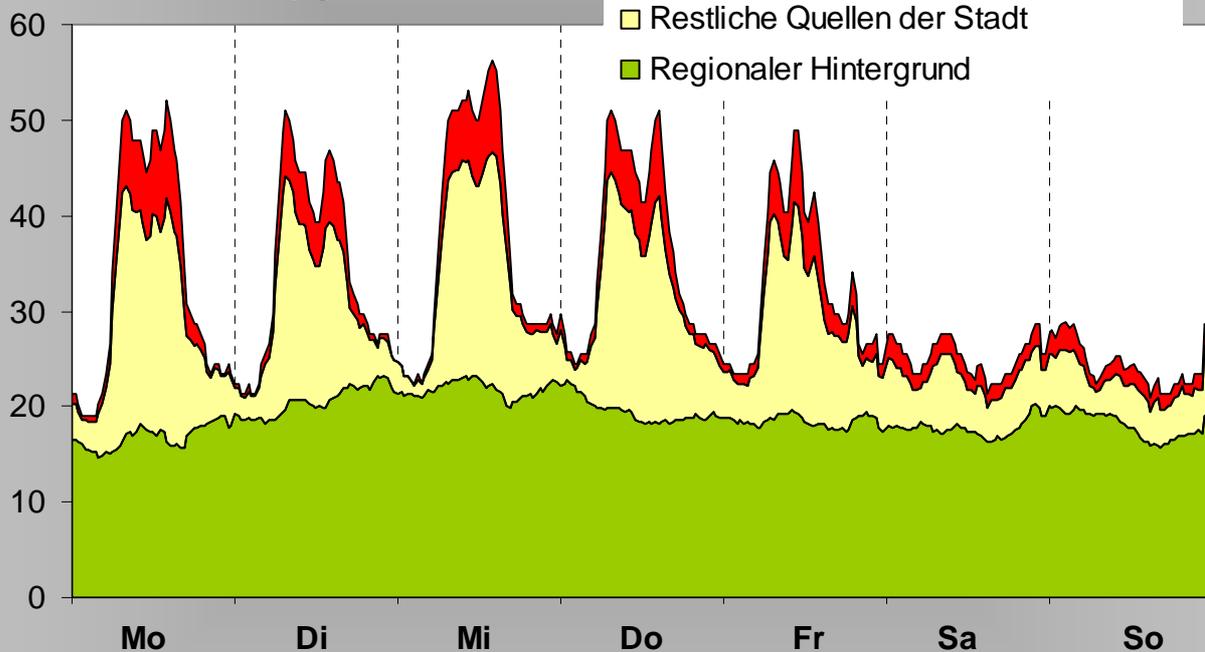




Umweltzone Leipzig

Teil 1: Ausgangsbeurteilung

PM₁₀ - Anteile in µg/m³



Messtechnische Begleitung der Einführung der Umweltzone in der Stadt Leipzig

Teil 1: Ausgangsbeurteilung der Immissionssituation im Jahr 2010 vor der Einführung der Umweltzone

Gunter Löschau, Alfred Wiedensohler, Wolfram Birmili, Fabian Rasch, Gerald Spindler,
Konrad Müller, Uwe Wolf, Andrea Hausmann, Hartmut Herrmann

1	Einleitung	9
2	Messkonzept, Messorte und Messverfahren	13
3	Luftqualität im Jahr 2010	17
3.1	Gesetzliche Beurteilung der Luftqualität 2010 in Leipzig und Dresden	17
3.2	Meteorologischer Einfluss auf Feinstaub PM ₁₀	18
3.3	Jahresmittelwerte an den für die Umweltzone relevanten Messstationen	20
3.3.1	Feinstaub PM ₁₀	20
3.3.2	Anzahl der PM ₁₀ -Überschreitungstage	20
3.3.3	Feinstaub PM _{2.5}	21
3.3.4	Ruß als elementarer Kohlenstoff (EC) im PM ₁₀	22
3.3.5	Ruß als schwarzer Kohlenstoff (BC) im PM ₁₀	22
3.3.6	Partikelanzahl im Partikelgrößenbereich von 30 bis 200 nm	23
3.3.7	Berechnete Partikelmasse im Partikelgrößenbereich von 30 bis 200 nm.....	24
3.3.8	Partikelanzahl-Größenverteilung	24
3.3.9	Stickstoffdioxid (NO ₂) und Stickstoffoxide (NO _x)	25
4	Schätzung des Minderungspotentials einer Umweltzone an den städtischen verkehrsnahen Luftgüte- Messstationen	27
4.1	Ergebnisse der Kfz-Zählstellen und der Fahrzeugbestand 2010.....	27
4.2	Modellierung des PM ₁₀ -Immissionsanteiles durch den lokalen Verkehr mit den motorbedingten und nicht motorbedingten Emissionen	29
4.3	Schätzung der Immissionsanteile nach Verursacher durch Vergleich der Ergebnisse der Messstationen an verschiedenen typischen Orten	30
4.3.1	Vorgehensweise.....	30
4.3.2	Ergebnisse für PM ₁₀ , PM _{2.5} , Ruß, PN _{30-200nm} und PM _{30-200nm}	31
4.3.3	Vergleich der ermittelten Immissionsanteile durch motorbedingte Emissionen des lokalen Verkehrs.....	34
4.3.4	Motorbedingte Immissionsanteile und Anzahl der PM ₁₀ -Grenzwertüberschreitungstage	36
4.3.5	Schätzung der Wirkung einer Umweltzone an den verkehrsbezogenen Messstationen im Jahr 2010.....	37
5	Vertiefende Auswertungen der Daten von 2010	38
5.1	Zeitlicher Verlauf der Wochenmittelwerte	38
5.2	Episode hoher Partikelkonzentration Anfang 2010.....	41
5.3	Mittlerer Wochengang für Tagesmittelwerte	42
5.4	Mittlerer Wochengang für 1/2-Stunden Werte	44
5.5	PM ₁₀ -Verursacheranteile im mittleren Wochengang.....	46
5.6	Mittlerer Wochengang und Schätzung des Minderungspotenzials einer Umweltzone	48
5.7	Analyse der Sommermonate	51
5.8	Partikelmassenfraktionen und Inhaltsstoffe mittels Impaktormessungen in LEI	59
6	Zusammenfassung	66
7	Literatur	69
Anlage 1:	Datenqualität	72
Anlage 2:	Statistik der Tagesmittelwerte	73
Anlage 3:	Erläuterung zu den PM_x-Werten in Melpitz	77
Anlage 4:	Einfluss der Bautätigkeit auf die PM₁₀-Immission in Leipzig-Mitte 2010	78
Anlage 5:	Messverfahren Impaktormessung	80

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Automatisches Luftgütemessnetz des Freistaates Sachsen im Jahr 2010	9
Abbildung 2:	Trend der Jahresmittelwerte für Schwefeldioxid und Benzol an der Messstation Leipzig-Mitte	10
Abbildung 3:	Trend der Jahresmittelwerte für Feinstaub PM ₁₀ an der regionalen Hintergrund-Messstation	10
Abbildung 4:	Welche Komponenten im Feinstaub sind gefährlich? [Wichmann, 2011]	11
Abbildung 5:	PM ₁₀ -Jahresmittelwerte von vier regionalen Hintergrundmessstationen in Sachsen in den vergangenen 12 Jahren	19
Abbildung 6:	PM ₁₀ -Jahresmittelwerte 2010	20
Abbildung 7:	Anzahl der Tage im Jahr 2010 mit mehr als 50 µg/m ³ PM ₁₀	21
Abbildung 8:	PM _{2,5} -Jahresmittelwerte 2010	21
Abbildung 9:	Orientierende Ruß _{EC} -Jahresmittelwerte im PM ₁₀ 2010	22
Abbildung 10:	Ruß _{BC} -Jahresmittelwerte im Feinstaub 2010 (Messung mit Vorabscheider PM ₁ in DDN und mit Vorabscheider PM ₁₀ in	23
Abbildung 11:	PN _{30-200nm} -Jahresmittelwerte 2010 (LWE* und LMI* mit reduziertem Datensatz - nur im 2. Halbjahr 2010)	23
Abbildung 12:	Jahresmittelwerte für die aus der Partikelanzahlverteilung berechnete Partikelmasse PM _{30-200nm} 2010 (LWE* und LMI* mit reduziertem Datensatz - nur im 2. Halbjahr 2010)	24
Abbildung 13:	Jahresmittelwerte für die Partikelanzahlgrößenverteilung im Jahr 2010 für die verkehrsnahen Messstationen (DDN, LMI*, LEI), die städtischen Hintergrund-Messstationen LWE* und LIT sowie die regionale Hintergrundmessstation MEL (* reduziertem Datensatz für LMI und LWE - nur im 2. Halbjahr 2010)	25
Abbildung 14:	NO ₂ - und NO _x -Jahresmittelwerte 2010	26
Abbildung 15:	Jahresmittelwerte für die Anzahl der PKW und SV pro Tag im Jahr 2010	27
Abbildung 16:	Anteile der Hauptverursacher für PM ₁₀ im Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messorten	31
Abbildung 17:	Anteile der Hauptverursacher für PM _{2,5} im Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messorten	31
Abbildung 18:	Anteile der Hauptverursacher für Ruß _{EC} im Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messorten	32
Abbildung 19:	Anteile der Hauptverursacher für Ruß _{BC} im Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messorten	32
Abbildung 20:	Anteile der Hauptverursacher für die Partikelanzahl PN im Größenbereich von 30 bis 200 nm im Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messorten	33
Abbildung 21:	Anteile der Hauptverursacher für die aus der Partikelanzahl berechnete Partikelmasse PM _{30-200 nm} im Jahr 2010	33
Abbildung 22:	Anteile der Hauptverursacher für NO _x im Jahr 2010	34
Abbildung 23:	Massebezogene Immissionsanteile durch motorbedingte Emissionen des lokalen Verkehrs im Jahr 2010	34
Abbildung 24:	Mit unterschiedlichen Messverfahren ermittelte relative Immissionsanteile der motorbedingten Emissionen an den verkehrsnahen Messstellen 2010	35
Abbildung 25:	Jahresmittelwerte und Überschreitungstage für PM ₁₀ in Sachsen im Zeitraum 1999 bis 2010	36
Abbildung 26:	Zeitlicher Verlauf der Wochenmittelwerte für die tägliche Anzahl an PKW (links) und SV (rechts) im Jahr 2010	39
Abbildung 27:	Zeitlicher Verlauf der Wochenmittelwerte für PM ₁₀ (links) und PM _{2,5} (rechts) im Jahr 2010	40
Abbildung 28:	Zeitlicher Verlauf der Wochenmittelwerte für Ruß _{BC} (links) und PN _{30-200 nm} (rechts) im Jahr 2010	40
Abbildung 29:	Zeitlicher Verlauf der Wochenmittelwerte für NO ₂ (links) und NO _x (rechts) im Jahr 2010	40
Abbildung 30:	Zeitlicher Verlauf der Tagesmittelwerte für PM _{2,5} Anfang 2010	41
Abbildung 31:	Deutschlandkarten des Umweltbundesamtes für Tagesmittelwerte für Feinstaub PM ₁₀ im Zeitraum vom 19. bis 30. Januar 2010 [UBA, 2010]	42
Abbildung 32:	Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für die tägliche Anzahl an PKW (links) und Schwerverkehr (rechts) der Kfz-Zählstellen in der Nähe der verkehrsnahen Luftgüte-Messstellen	43
Abbildung 33:	Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für PM ₁₀ (links) und PM _{2,5} (rechts)	43
Abbildung 34:	Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für Ruß _{BC} (links) und PN _{30-200nm} (rechts)	44
Abbildung 35:	Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für NO ₂ (links) und NO _x (rechts)	44
Abbildung 36:	Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für die tägliche Anzahl an PKW (links) und SV (rechts)	45
Abbildung 37:	Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für PM ₁₀ (links: alle Messstationen, rechts: kategorisierte Stationen)	46
Abbildung 38:	Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für Ruß _{BC} (links) und PN _{30-200 nm} (rechts)	46

Abbildung 39:	Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für NO ₂ (links) und NO _x (rechts)	46
Abbildung 40:	Mittlerer Wochengang für PM ₁₀ im Jahr 2010 mit Verursacheranteilen an den verkehrsnahen Messstellen DDN (oben) und LMI (unten)	47
Abbildung 41:	Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 mit dem Minderungspotenzial einer Umweltzone an der verkehrsnahen Messstelle DDN für PM ₁₀ (oben), Ruß _{BC} (Mitte) und PN _{30-200nm} (unten)	49
Abbildung 42:	Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 mit dem Minderungspotenzial einer Umweltzone an der verkehrsnahen Messstelle LMI für PM ₁₀ (oben), Ruß _{BC} (Mitte) und PN _{30-200nm} (unten)	50
Abbildung 43:	Vergleich der Mittelwerte für Sommer und Winter 2010 (oben Kfz-Zahlen, darunter Schadstoffe PM ₁₀ , PM _{2,5} Ruß _{EC} , Ruß _{BC} und unten PN _{30-200nm} bzw. NO ₂)	52
Abbildung 44:	Mittlerer Wochengang für die tägliche Anzahl an PKW (links) und SV (rechts) im Sommer 2010	54
Abbildung 45:	Mittlerer Wochengang für PM ₁₀ (links: alle Messstationen, rechts: kategorisierte Stationen) im Sommer 2010	55
Abbildung 46:	Mittlerer Wochengang im Sommer 2010 für Ruß _{BC} (links) und PN _{30-200nm} (rechts)	55
Abbildung 47:	Mittlerer Wochengang im Sommer 2010 für NO ₂ (links) und NO _x (rechts)	55
Abbildung 48:	Mittlerer Wochengang im Sommer 2010 mit dem Minderungspotenzial einer Umweltzone an der verkehrsnahen Messstelle DDN für PM ₁₀ (oben), Ruß _{BC} (Mitte) und PN _{30-200nm} (unten)	57
Abbildung 49:	Mittlerer Wochengang im Sommer 2010 mit dem Minderungspotenzial einer Umweltzone an der verkehrsnahen Messstelle LMI für PM ₁₀ (oben), Ruß _{BC} (Mitte) und PN _{30-200nm} (unten)	58
Abbildung 50:	Partikelmasse für Wochenende und Wochentag und Zuordnung der Hauptquellen zu den Größenfraktionen des 10-stufigen Impaktors für je 2 Tagesmessungen in LEI im Herbst 2010	60
Abbildung 51:	EC-Konzentration auf dem 10-stufigen Impaktor im Herbst 2010	61
Abbildung 52:	Vergleich der Mittelwerte der fünf Herbst- (H) mit den Mittelwerten der sechs Wintermessungen (W) in der Eisenbahnstraße (LEI) für die Komponenten Sulfat, Nitrat, EC und OC	62
Abbildung 53:	PM-Massenkonzentrationen der fünf Fraktionen nach Jahr (oben links), Saison (oben rechts) und saisonaler Anströmung (unten links: Winter; unten rechts: Sommer) an der Messstation LEI	63
Abbildung 54:	PM-Ammoniumkonzentrationen der fünf Fraktionen nach Jahr (oben links), Saison (oben rechts) und saisonaler Anströmung (unten links: Sommer; unten rechts: Winter) an der Messstation LEI	63
Abbildung 55:	PM-Sulfatkonzentrationen der fünf Fraktionen nach Jahr (oben links), Saison (oben rechts) und saisonaler Anströmung (unten links: Sommer; unten rechts: Winter) an der Messstation LEI	64
Abbildung 56:	PM-Nitratkonzentrationen der fünf Fraktionen nach Jahr (oben links), Saison (oben rechts) und saisonaler Anströmung (unten links: Sommer; unten rechts: Winter) an der Messstation LEI	64
Abbildung 57:	PM-EC-Konzentrationen der fünf Fraktionen nach Jahr (oben links), Saison (oben rechts) und saisonaler Anströmung (unten links: Sommer; unten rechts: Winter) an der Messstation LEI	65
Abbildung 58:	PM-OM-Konzentrationen der fünf Fraktionen nach Jahr (oben links), Saison (oben rechts), saisonaler Anströmung (unten links: Sommer; unten rechts: Winter) an der Messstation LEI	65
Abbildung 59:	Beispiel für PM ₁₀ -Verlauf (28. Juli 2010) an vier verkehrsbezogenen Messstationen mit Bautätigkeit in der Nähe der Messstation Leipzig-Mitte.	78
Abbildung 60:	10fach-Wägung einer Impaktorfolie (Standardabweichung: 0,85 µg).	81

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Weitere Berichte zur Wirksamkeit der Umweltzone in Leipzig	12
Tabelle 2:	Ausgewählte Messstationen	14
Tabelle 3:	Kontinuierliche Daten der Automaten in Form von ½-h-Mittelwerten, 2010	15
Tabelle 4:	Diskontinuierliche Daten der Sammler in Form von Tagesmittelwerten (0-24 Uhr)	15
Tabelle 5:	Messverfahren ohne Sondermessverfahren	16
Tabelle 6:	Sondermessverfahren für Anzahl und Größe feiner und ultrafeiner Partikel im Jahr 2010	16
Tabelle 7:	Sondermessverfahren für Ruß _{BC} mit MAAP5012 Thermo Scientific im Jahr 2010	16
Tabelle 8:	Jahresmittelwerte für PM ₁₀ , PM _{2,5} und NO ₂ im Jahr 2010 und deren Beurteilung mit den Grenzwerten	17
Tabelle 9:	Statistische Auswertung der PM ₁₀ -Jahresmittelwerte der regionalen Hintergrund-Messstationen	19
Tabelle 10:	PM ₁₀ -Referenzniveau für den regionalen Hintergrund sowie jährliche Abweichungen	19
Tabelle 11:	Verhältnis der Partikelanzahlkonzentration für die Partikelgröße 80 nm gegenüber dem regionalen	25
Tabelle 12:	Fahrzeugbestand an PKW in Sachsen, der Stadt Dresden und der Stadt Leipzig als Mittelwert vom	28
Tabelle 13:	Fahrzeugbestand an Nutzfahrzeugen in Sachsen, der Stadt Dresden und der Stadt Leipzig als	28
Tabelle 14:	Fahrzeugbestand an Kraftomnibussen in Sachsen, der Stadt Dresden und der Stadt Leipzig	29
Tabelle 15:	Vorläufige Angaben zu den modellierten PM ₁₀ -Anteilen an den verkehrsnahen Messstellen im Jahr 2010	29
Tabelle 16:	Mittlere Immissionsanteil durch motorbedingte Emissionen der Kraftfahrzeuge und deren Standardabweichung für verschiedene Messverfahren an den verkehrsnahen Messstellen 2010	35
Tabelle 17:	Hypothetische Anzahl der PM ₁₀ -Grenzwertüberschreitungstage*, die durch motorbedingte Emissionen des lokalen Verkehrs im Jahr 2010 verursacht wurden	36
Tabelle 18:	Hypothetische PM ₁₀ -Grenzwertüberschreitungstage im Jahr 2010, wenn in diesem Jahr bereits eine Umweltzone in Leipzig und Dresden bestanden hätte (grau unterlegt: Grenzwertüberschreitung)	37
Tabelle 19:	Wochenmittelwerte für Feinstaub PM _{2,5} Anfang 2010 für Messstationen am Straßenrand und im städtischen Hintergrund in Dresden und Leipzig sowie im regionalen Hintergrund	38
Tabelle 20:	Prozentuale Änderung der Kfz-Zahlen vom Jahresmittelwert 2010 zum Mittelwert des Sommers 2010	53
Tabelle 21:	Prozentuale Änderung des Sommermittelwertes 2010 gegenüber dem Jahresmittelwert 2010	53
Tabelle 22:	Ermittelte Immissionsanteile durch lokale motorbedingte Emissionen für verschiedene Messgrößen an den verkehrsnahen Messstellen als Mittelwerte für den Sommer 2010 und das ganze Jahr 2010	53
Tabelle 23:	Mittlerer Immissionsanteil durch motorbedingte Emissionen des lokalen Verkehrs und deren Standardabweichung für verschiedene Messverfahren als Mittelwert im Sommer 2010 und im ganzen Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messstellen	54
Tabelle 24:	Partikelgrößenbereich der zwei Impaktortypen	59
Tabelle 25:	Mittelwerte für Masse und Inhaltsstoffe der Messung (N=4) mit dem 10-stufigen Impaktor in der Eisenbahnstraße (LEI) im Herbst 2010	60
Tabelle 26:	Mittelwerte für Masse und Inhaltsstoffe der Messung (N=6) mit dem 10-stufigen Impaktor in der Eisenbahnstraße (LEI) im Februar 2011	61
Tabelle 27:	Datenverfügbarkeit für Tagesmittelwerte 2010	72
Tabelle 28:	Messunsicherheit und Vergleichbarkeit der Daten	72
Tabelle 29:	Statistik für PM ₁₀ in µg/m ³	73
Tabelle 30:	Statistik für PM _{2.5} in µg/m ³	73
Tabelle 31:	Statistik für NO ₂ in µg/m ³	74
Tabelle 32:	Statistik für NO _x in µg/m ³	74
Tabelle 33:	Statistik für die Anzahl der Kraftfahrzeuge als SV oder PKW pro Tag	75
Tabelle 34:	Statistik für die EC _{PM10} in µg/m ³	75
Tabelle 35:	Statistik für die BC _{PM1} /PM ₁₀ in µg/m ³	76
Tabelle 36:	Statistik für die PN _{30-200nm} in 1/cm ³	76
Tabelle 37:	Liste der Tage mit signifikantem Einfluss der Bautätigkeit auf den PM ₁₀ -Tagesmittelwert an der Messstation Leipzig-Mitte im Jahr 2010 mit quantifiziertem Anteil der PM ₁₀ -Zusatzbelastung durch die Bautätigkeit (PM _{10_ZB_Bau})	79
Tabelle 38:	Ionenchromatographische Bedingungen	81
Tabelle 39:	Güteparameter des Verfahrens (OC/EC)	82

Abkürzungsverzeichnis

µm	Mikrometer
BaP	Benzo(a)pyren
BC	Ruß als Schwärzung (Black Carbon)
BfUL	Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft. Vom LfULG beauftragt für Durchführung der Messungen
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
COL	Messstation Collmburg (LfULG)
DDB	Messstation Dresden-Bergstraße (LfULG)
DDN	Messstation Dresden-Nord (LfULG)
DDW	Messstation Dresden-Winckelmannstraße (LfULG)
EC	Ruß als elementarer Kohlenstoff (Elemental Carbon)
EEV	Enhanced Environmentally Friendly Vehicle ist der gegenwärtig anspruchsvollste europäische Abgasstandard für Busse und Lkw
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
FDMS	Filter Dynamics Measurement System ist ein Messsystem zur Bestimmung von flüchtigen und nichtflüchtigen Bestandteilen in der Außenluft.
GUAN	German Ultrafine Aerosol Network ist das deutsche Beobachtungsnetz für ultrafeine Aerosolpartikel
HVS	High-Volume-Sampler
IfT	Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. in Leipzig
Kfz	Kraftfahrzeug
KW	Kalenderwoche
LEI	Messstation Leipzig-Eisenbahnstraße (IfT)
LfULG	Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
LIT	Messstation Leipzig-IfT-Dach (IfT)
LLÜ	Messstation Leipzig-Lützner Straße (LfULG)
LMI	Messstation Leipzig-Mitte (LfULG)
LWE	Messstation Leipzig-West (LfULG)
MEL	Messstation Melpitz (IfT)
nm	Nanometer
NN	Normalnull als Synonym für Höhe über dem Meeresspiegel
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickstoffoxide
OC	organischen Kohlenstoffanteil
OM	organische Masse
PM ₁	Partikel kleiner 1 µm
PM ₁₀	Partikel kleiner 10 µm
PM _{2,5}	Partikel kleiner 2,5 µm
PN _{grob}	Anzahl grober Partikel
PN _{ultrafein-fein}	Anzahl feiner und ultrafeiner Partikel
Ruß _{BC}	Ruß als BC
Ruß _{EC}	Ruß als EC
RWD	Messstation Radebeul-Wahnsdorf (LfULG)
SKL	Schadstoffklasse für Nutzfahrzeuge
SMPS	Scanning Mobility Particle Sizer
SO ₂	Schwefeldioxid
SV	Schwerverkehr
SWB	Messstation Schwartenberg (LfULG)
TC	Gesamtkohlenstoff (Total Carbon)

TDMPS	Twin Differential Mobility Particle Sizer
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WCCAP	World Calibration Centre for Aerosol Physics des „Global Atmosphere Watch Programms der UNO/WMO“ am Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. in Leipzig
WHO	Weltgesundheitsorganisation (World Health Organisation)

1 Einleitung

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Dresden und das Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e. V. (IfT) in Leipzig vereinbarten im Jahr 2009 gemeinsame Messungen zur Begleitung von Umweltzonen in Sachsen, um deren Wirkung auf die Luftqualität darzustellen.

Die gesetzliche Überwachung der Luftqualität im Freistaat Sachsen erfolgt über das landesweite Luftgütemessnetz mit 29 automatischen Messstationen, an denen eine Vielzahl von Luftschadstoffen gemessen wird (Abbildung 1). Die festgestellten Schadstoffkonzentrationen werden mit den gesetzlich vorgegebenen Grenz- und Richtwerten für die Außenluft zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung und der Vegetation [EU-RL, 2008], [BImSchV, 2010] verglichen und bewertet. Zur Information der Bevölkerung über die Luftqualität veröffentlicht das LfULG aktuelle Messdaten im Internet [LfULG, 2011a], führt Modellierung der flächenhaften Belastung in Sachsen durch, berät die Städte bei der Aufstellung von Luftreinhalteplänen und erstellt Materialien zur Luftreinhaltung, wie z. B. den Jahresbericht zur Immissionssituation [LfULG, 2011b]. Das LfULG ließ Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Quellen auf die Partikelbelastung in Leipzig [Herrmann, 2000] und in Dresden [Herrmann, 2008a], [Gerwig, 2005], [Gnauk, 2012] und hinsichtlich der spezifischen Emissionen von Holzfeuerungen im Luftkurort Seiffen [Herrmann, 2008b], [Poulain, 2011] über Forschungsvorhaben ausführen. Weiterhin werden mit europäischen Partnern gegenwärtig zwei EU-Projekte zum Thema „Ultrafeine Partikel und Gesundheit“ durchgeführt [Bastian, 2012, Schladitz, 2012].

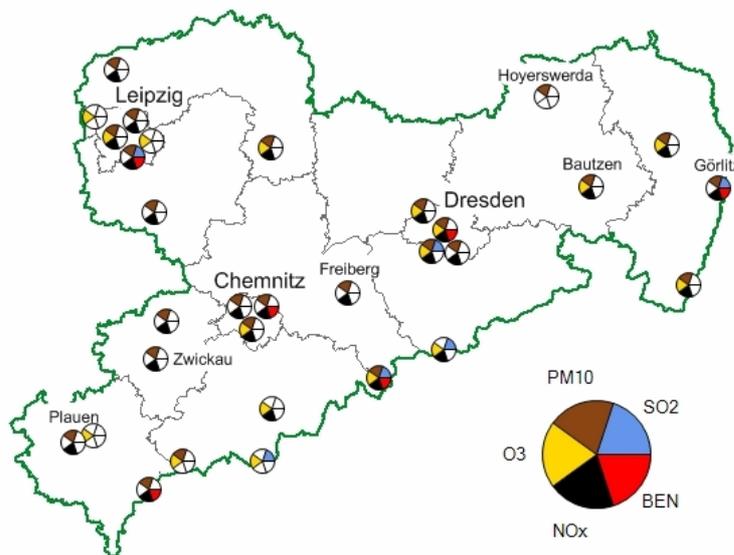


Abbildung 1: Automatisches Luftgütemessnetz des Freistaates Sachsen im Jahr 2010

Die Luftqualität hat sich in den letzten zwei Jahrzehnten deutlich verbessert. Die Schwefeldioxid- und Benzolkonzentration z. B. sanken (Abbildung 2). Auch für Feinstaub $<10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) gab es Mitte bis Ende der neunziger Jahre eine deutliche Verringerung der Belastung, wie die längste verfügbare Messreihe in Sachsen an der regionalen Hintergrund-Messstation Melpitz [Spindler, 2010a] in Abbildung 3 zeigt. Ausgehend von einem PM_{10} -Niveau von $36\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ der Jahre 1993 bis 1996 reduzierte sich die PM_{10} -Konzentration bis 1999 um $13\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ (37 %) auf $23\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. Doch diese erfolgreiche Reduzierung konnte im letzten Jahrzehnt nicht fortgesetzt werden. Seit etwa 1999 stagnieren die Jahresmittelwerte. In den letzten 12 Jahren schwanken sie nur durch die meteorologischen Rahmenbedingungen der einzelnen Jahre. Von 1999 bis 2010 beträgt das mittlere PM_{10} -Belastungsniveau $22\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ und besitzt eine Schwankungsbreite von $\pm 3,3\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 15 % für die Jahresmittelwerte¹.

¹ Angabe für eine statistische Sicherheit von 95 %

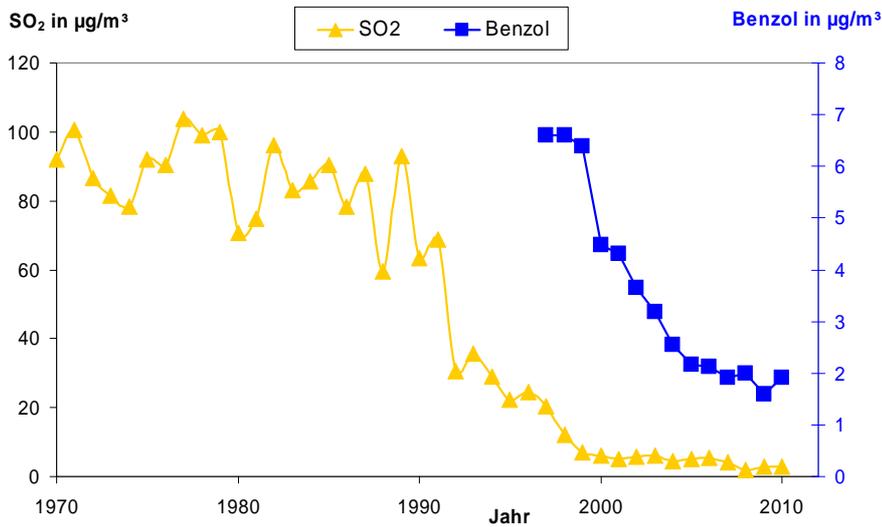


Abbildung 2: Trend der Jahresmittelwerte für Schwefeldioxid und Benzol an der Messstation Leipzig-Mitte

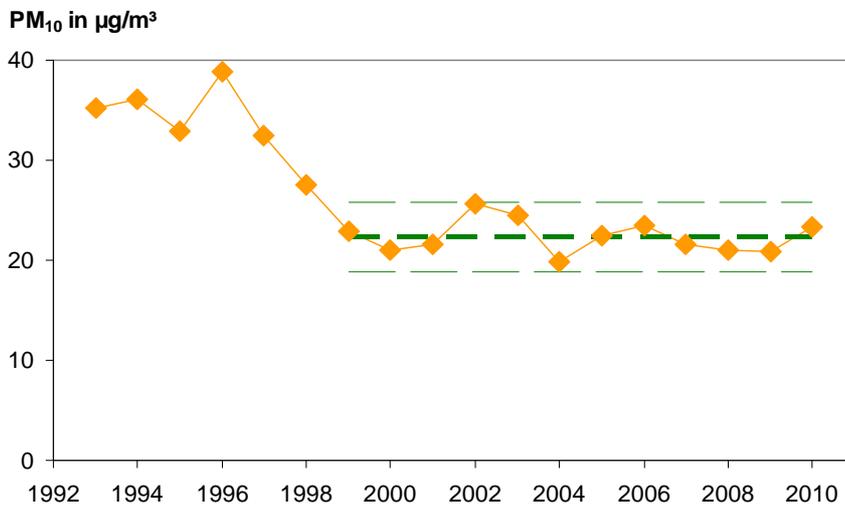


Abbildung 3: Trend der Jahresmittelwerte für Feinstaub PM₁₀ an der regionalen Hintergrund-Messstation Melpitz etwa 50 km nordöstlich von Leipzig [Spindler, 2010b]

Der von der Weltgesundheitsorganisation empfohlene PM₁₀-Jahresmittelwert von 20 µg/m³ [WHO, 2005] wird damit bereits im regionalen Hintergrund Melpitz überschritten.

Ausgehend von diesem Hintergrundniveau erhöht sich die PM₁₀-Belastung hin zu den Ballungsräumen Leipzig und Dresden durch zusätzliche Feinstaubquellen, wie z. B. Verkehr, Industrie und Hausbrand. Die höchsten PM₁₀-Konzentrationen in Sachsen werden in den großen Städten am Rand viel befahrener Straßen mit hohem Schwerverkehrsanteil festgestellt [LfULG, 2011b].

Im Jahr 1999 wurden mit der EU-Richtlinie 1999/30/EG [EU-RL, 1999] die Mitgliedsstaaten aufgefordert, Maßnahmen zur Reduzierung u. a. von PM₁₀ zu ergreifen und verpflichtet, die von der EU festgelegten Grenzwerte für PM₁₀ ab dem Jahr 2005 einzuhalten. Luftreinhaltepläne für Leipzig [Leipzig, 2005], Dresden, Chemnitz und weitere Städte in Sachsen wurden aufgestellt. Eine Vielzahl von Maßnahmen wurde diskutiert und in Luftreinhalteplänen festgelegt. Die novellierte EU-Richtlinie 2008/50/EG [EU-RL, 2008] eröffnete die Möglichkeit, unter bestimmten Bedingungen die Frist für die Einhaltung einiger Luftqua-

litätsgrenzwerte zu verlängern. Die EU hat die für Leipzig beantragte Fristverlängerung für die Einhaltung des PM₁₀-Kurzzeitgrenzwertes (nicht mehr als 35 Tage mit PM₁₀-Tagesmittelwerten >50 µg/m³) bis zum 11. Juni 2011 notifiziert.²

Die Stadtverwaltung Leipzig hat die Einführung einer Umweltzone neben mehr als 40 weiteren Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität beschlossen [Leipzig, 2009]. Die Einführung der Umweltzone in Leipzig von Stufe „Null“ auf Stufe „grüne Plakette“ wurde im Luftreinhalteplan zum 1. Januar 2011 geplant, der EU angezeigt und am 1. März 2011 praktisch realisiert.

Die Einführung einer Umweltzone in Dresden wurde im Vorfeld zum Luftreinhalteplan als Möglichkeit diskutiert, aber dann nicht realisiert. An deren Stelle soll ein innovatives Maßnahmenpaket ähnliche Reduzierungen der Luftschadstoffe liefern [Dresden, 2011]. Sollte dies nicht gelingen, ist auch in Dresden eine Umweltzone mit Stufe „grün“ vorgesehen.

Mit der Einführung einer Umweltzone wird das Ziel verfolgt, Fahrzeuge mit hohen Abgasemissionen schrittweise aus einem Gebiet mit PM₁₀ – Grenzwertüberschreitungen auszuschließen. Die Umweltzone soll damit beschleunigend auf die Modernisierung der Fahrzeugflotte wirken. Dabei sollen ältere dieselbetriebenen PKW, Kleintransporter, Busse und LKW schneller abgelöst werden. PM₁₀ aus Abgasen von Kraftfahrzeugen ist toxikologisch erheblich relevanter als aus den meisten anderen Quellen [Wichmann, 2008]. Mit einer Umweltzone wird Dieselruß als der am meisten gesundheitsrelevante Anteil im PM₁₀ reduziert und ein großer Gesundheitsgewinn für die städtische Bevölkerung erreicht (vergl. Abbildung 4). Wenn der hochtoxische Anteil im Feinstaub um 6 bis 12 % reduziert wird, sinkt das Gesundheitsrisiko um 30 bis 60 % [Wichmann, 2011].



Abbildung 4: Welche Komponenten im Feinstaub sind gefährlich? [Wichmann, 2011]

Die motorbedingten Dieselruß-Emissionen der Fahrzeuge haben jedoch nur einen kleinen Anteil an der PM₁₀-Belastung. Nach ersten groben Schätzungen sind es an zwei verkehrsnahen Messstellen in Dresden 2 % bzw. 7 % [Löschau, 2011a]. Die Reduzierung der PM₁₀-Konzentration durch die Umweltzone wird deshalb gering ausfallen. Dieser geringen Reduzierung durch die Umweltzone steht eine deutlich größere Schwankungsbreite der PM₁₀-Jahresmittelwerte infolge der meteorologischen Einflüsse gegenüber (vergl. Abbildung 3, Zeitraum 1999-2010). PM₁₀-Reduzierungen durch eine Umweltzone werden deshalb erst nach einem längeren Mittelungszeitraum (mindestens 5 Jahre) statistisch gesichert nachweisbar.

Diese Erkenntnisse waren der Ausgangspunkt für ein ergänzendes Messkonzept in Sachsen, das neben den gesetzlich vorgegebenen PM₁₀-Messungen auch Sondermessungen von ultrafeinen Partikeln und Ruß an wenigen Orten exemplarisch vorsieht. Die Veränderungen der Auspuffemissionen der Dieselfahrzeuge sollen über diese ergänzenden Sondermessungen selektiver und empfindlicher als mit der PM₁₀-Messmethode ermittelt und dokumentiert werden. Das LfULG und das IfT werten die Messdaten gemeinsam aus und werden dazu Berichte veröffentlichen. Dabei wird die Stadt Dresden, die keine Einrichtung einer Umweltzone beschlossen hatte, vergleichend einbezogen.

Die Berichterstattung wird sich in drei Berichte untergliedern. Der hier vorliegende erste Bericht (Teil 1) enthält die Messergebnisse für das Jahr 2010 vor Einführung der Umweltzone in Leipzig. Das Jahr 2010 bildet damit die Ausgangslage zur Beurteilung der Immissionssituation. In dem nachfolgenden zweiten Bericht (Teil 2) sollen die Messergebnisse für das Jahr 2011 aufbereitet werden, in die die Einführung der Umweltzone in Leipzig fällt. Ein dritter Bericht (Teil3) soll die Messergebnisse für das

² Die Entscheidung der EU für die ebenfalls beantragte Fristverlängerung bis zur Einhaltung des NO₂-Jahresmittelgrenzwertes (40 µg/m³) für Leipzig, Dresden und Chemnitz steht noch aus.

Jahr 2012 auswerten und die Änderungen zur Ausgangslage im Jahr 2010 darstellen. Erst mit dem dritten Bericht wird es möglich sein, die Wirksamkeit der Umweltzone auf die Luftqualität in Leipzig aufzuzeigen und zu bewerten (Tabelle 1).

Tabelle 1: Weitere Berichte zur Wirksamkeit der Umweltzone in Leipzig

	Inhalt	Fertigstellung
Zweiter Bericht	Immissionssituation im Jahr 2011 während der Einführung der Umweltzone und erste Bewertung von Effekten der Umweltzone	Juli 2012
Dritter Bericht	Immissionssituation im Jahr 2012 mit Umweltzone und Bewertung der Wirkung der Umweltzone	Juni 2013

2 Messkonzept, Messorte und Messverfahren

Grundlegendes zum Messkonzept

Die gesetzlich vorgeschriebene Überwachung der für die Umweltzone relevanten Luftschadstoffe Feinstaub PM₁₀ und PM_{2,5} sowie NO₂ wird in den Luftgüte-Messstationen vom Freistaat Sachsen routinemäßig durchgeführt.

Folgende Maßnahmen für die Messungen in den Ballungsräumen Leipzig und Dresden wurden zur Begleitung der Umweltzone zusätzlich aufgenommen:

- Einsatz der PM₁₀-Messmethode mit der höchsten erzielbaren Messgenauigkeit in allen Luftgüte-Messstationen der Städte Leipzig und Dresden durch Probenahme auf Filter mit sog. High Volume Sampler (HVS)
- Durchführung zusätzlicher PM_{2,5}-Messungen in Leipzig und Dresden,
- Durchführung zusätzlicher chemischen Analyse von Ruß (EC) und organischen Kohlenstoffanteil (OC) im Feinstaub PM₁₀ in Leipzig und Dresden,
- Installation von Sondermesstechnik für ultrafeine Partikel und Ruß in Luftgüte-Messstationen in Leipzig durch das IfT,
- Einbeziehung von Messstationen des IfT.

Das Konzept wurde weitgehend durch eine Verlagerung von Messtechnik im sächsischen Luftgütemessnetz realisiert. Für die Sondermesstechnik des IfT wurde die Infrastruktur der vorhandenen Luftgüte-Messstationen genutzt. Die Sondermessungen sollen mindestens bis Ende 2012 erfolgen.

Auswahl der Messstationen und Messorttypen

Für die Untersuchungen wurden 12 Messorte festgelegt (vgl. Tabelle 2). Aus dem Luftgütemessnetzes des Freistaates wurden neun Luftgüte-Messstationen ausgewählt und durch drei Forschungs-Messstationen des IfT ergänzt.

Diese Messstationen lassen sich in folgende drei Messorttypen einordnen, die für charakteristische Belastungsniveaus stehen:

- städtische Straße,
- städtischer Hintergrund,
- regionaler Hintergrund.

Das **Belastungsniveau „regionaler Hintergrund“** wird dabei mit Messstationen ermittelt, die sich im ländlichen Raum und möglichst weit entfernt von starken Emissionsquellen wie Straßenverkehr, Industrieanlagen und Ballungsräumen befinden. Die Luftqualität sollte weitgehend unbeeinflusst von lokalen anthropogenen Quellen sein. Zur Ermittlung des regionalen Hintergrundniveaus wurden die Messstationen Melpitz (MEL), Collnberg (COL), Schwartenberg (SWB) und Radebeul-Wahnsdorf (RWD) ausgewählt.

Das **Belastungsniveau „städtischer Hintergrund“** bezieht sich auf Messstationen in der Stadt, die nicht unmittelbar an starken örtlichen Emissionsquellen wie Verkehr, Tankstellen und Industrie gelegen sind. Eine gute Durchmischung der Umgebungsluft sollte vorhanden sein. Der integrierte Beitrag vieler Quellen wird so erfasst. Das Belastungsniveau sollte repräsentativ für die mittlere Luftqualität der Stadt sein. Sowohl die regionale Hintergrundbelastung als auch allgemeine Quellen der Stadt prägen diese Luftqualität. Für die Stadt Leipzig wurden dafür die Messstationen Leipzig-West (LWE) und Leipzig-IfT-Dach (LIT) und für die Stadt Dresden die Messstation Dresden-Winckelmannstraße (DDW) festgelegt.

Das **Belastungsniveau „städtische Straße“**, oft auch als „verkehrsnahe“ bezeichnet, bezieht sich auf eine Messstation, die nur wenige Meter vom Rand einer viel befahrenen Straße in der Stadt steht. Sowohl die städtische Hintergrundbelastung als auch die verkehrsnahen Emissionen bestimmen die Luftqualität. Der Kategorie „städtischer Straße“ wurden fünf Messstationen zugeordnet. Es sind die Messstationen Leipzig-Mitte (LMI), Leipzig-Lützner Straße (LLÜ), Leipzig-Eisenbahnstraße (LEI), Dresden-Nord (DDN) und Dresden-Bergstraße (DDB).

Zur einfachen Einordnung der Messstationen und deren Ergebnisse wurden drei Farben für die drei Messorttypen vergeben. Die straßennahen Messstationen wurden rot, die Messstationen im städtischen Hintergrund gelb und die Messstationen im regionalen Hintergrund grün unterlegt (Tabelle 2).

Messgrößen

Die Messgrößen an den einzelnen Messstationen enthalten Tabelle 3 und Tabelle 4. Aus Kostengründen konnte nicht jede Messstation zu Erfassung aller Messgrößen aufgerüstet werden.

Die kontinuierlichen Messungen der Automaten liefern i. d. R. Daten mit einer zeitlichen Auflösung von ½-h-Mittelwerten. Neben den traditionellen Luftschadstoffen NO₂ und PM₁₀ werden auch Ruß und Anzahlgrößenverteilungen ultrafeiner Partikel in einigen Messstationen bestimmt. An den verkehrsnahen Messstationen werden nahegelegene Kfz-Zählstellen genutzt. Meist werden auch die lokalen meteorologischen Parameter registriert (Tabelle 3).

Die diskontinuierlichen Messungen liefern über Probenahme auf Filter und Analysen Tagesmittelwerte. Für Feinstaub PM₁₀ und PM_{2,5} wird pro Tag je eine Probenahme auf Filter durchgeführt. Inhaltsstoffe werden i. d. R. alle 3 oder 6 Tage synchron im Luftgütemessnetz bestimmt. In Melpitz erfolgt eine tägliche Bestimmung der Inhaltsstoffe für PM₁₀ und PM_{2,5}. Tägliche Niederschlagswerte stehen für Dresden in Radebeul-Wahnsdorf und für Leipzig in Schkeuditz zur Verfügung (Tabelle 4).

Tabelle 2: Ausgewählte Messstationen

Gebiet	Messstationsname mit Abkürzung	Messortcharakterisierung
Leipzig	Leipzig-Mitte (LMI)	Städtische Straße , Am Hallischen Tor, Kreuzung Willy-Brandt-Platz, Zentrum, nahe Hauptbahnhof, offene Bebauung, 43.000 Kfz/d mit 3,4 % SV (2010), 110 m über NN
	Leipzig-Lützner Str. (LLÜ)	Städtische Straße , Lützner Straße 34, Straßenschlucht, 23.000 Kfz/d mit 3,5 % SV (2010), 115 m über NN
	Leipzig-Eisenbahn-str. (LEI)	Städtische Straße , Eisenbahnstraße 81, Probenahme etwa 7 m über Straßenniveau, Straßenschlucht, etwa 10.000 bis 12.000 Kfz/d, an Werktagen etwa 4 % Schwerlastverkehr (2009), 130 m über NN,
	Leipzig-West (LWE)	Städtischer Hintergrund im Westen von Leipzig, Parkanlage, Nikolai-Rumjanzew-Str. 100, 115 m über NN
	Leipzig-Ift-Dach (LIT)	Städtischer Hintergrund im Norden von Leipzig, auf dem Dach des dreistöckigen IFT-Gebäudes, etwa 25 m über Grund, Forschungspark, 130 m über NN
Dresden	Dresden-Nord (DDN)	Städtische Straße , Schlesischer Platz, lockere, einseitig offene Bebauung, Vorplatz Neustädter Bahnhof, Elbtal, auf nahegelegener Ausfallstraße fahren 36.000 Kfz/d mit 3,5 % SV (2010), 112 m über NN
	Dresden-Bergstr. (DDB)	Städtische Straße , Bergstraße 78-80, Steigung der Fahrbahn 6 %, Autobahnzubringer, 25.000 Kfz/d mit 3,9 % SV (2010), 150 m über NN
	Dresden-Winckelmannstr. (DDW)	Städtischer Hintergrund , Parkanlage und Parkplatz im Hinterhof, Elbtal, 116 m über NN
Referenz	Melpitz (MEL)	Regionaler Hintergrund , 400 m vom Dorf Melpitz, 50 km nordöstlich von Leipzig, nordwestlich von Dresden, Weide, Flachland, 87 m über NN
	Collmberg (COL)	Regionaler Hintergrund , östlich von Leipzig und nordwestlich von Dresden, Berg 313 m über NN
	Schwartenberg (SWB)	Regionaler Hintergrund , Erzgebirge, Etwa 50 km südwestlich von Dresden. Berg 785 m über NN
	Radebeul-Wahnsdorf (RWD)	Vorstädtischer Hintergrund , Radebeul, Altwahnsdorf 12, nahe Stadtrand von Dresden über Elbtal, 246 m über NN

Tabelle 3: Kontinuierliche Daten der Automaten in Form von ½-h-Mittelwerten, 2010

Messstation	DDN	DDB	DDW	LMI	LLÜ	LEI	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD
NO, NO ₂ , NO _x	X	X	X	X	X		X		X	X		X
PM ₁₀ -FDMS	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
PN ultrafein-fein	X		X*	X**		X	X**	X	X			
PN grob				X**								
RußBC _{MAAP}	X			X**		X	X**	X	X			
Kfz-Zahlen	X	X***		X***	X***							
Temperatur	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
Relative Feuchte	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
Druck	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
Windrichtung	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
Windgeschwindigkeit	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
Globalstrahlung	X	X	X	X	X		X		X	X	X	X
Niederschlag			X	X					X			

* Messung ab 1. Dezember 2010

** Messung ab 1. Juli 2010

*** 1 h Mittelwerte

Tabelle 4: Diskontinuierliche Daten der Sammler in Form von Tagesmittelwerten (0-24 Uhr)

Messstation	DDN	DDB	DDW	LMI	LLÜ	LEI	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD
PM ₁₀ -HVS	täglich	täglich	täglich	täglich	täglich		täglich		täglich ¹⁾	täglich	täglich	täglich
PM _{2.5} -HVS	täglich	täglich	täglich	täglich			täglich		täglich	täglich		
PM ₁ -HVS									alle 6 Tage ¹⁾			
Impaktor						2)						
RußEC _{VDI2465-01}	alle 6 Tage		alle 6 Tage		täglich	alle 6 Tage	alle 6 Tage	alle 6 Tage				
OC _{VDI2465-01}	alle 6 Tage		alle 6 Tage		täglich	alle 6 Tage	alle 6 Tage	alle 6 Tage				
BaP _{PM10}	alle 3 Tage		alle 3 Tage			alle 3 Tage	alle 3 Tage	alle 3 Tage				
Niederschlag				Schkeuditz							X	X

¹⁾ Weiterhin Inhaltsstoffe, wie wasserlösliche Ionen Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ sowie OC und EC

²⁾ Masse und Inhaltsstoffe nach Vorgabe (vergl. Anlage 4)

Messverfahren

Die vorwiegend im Routineeinsatz laufenden kontinuierlichen und diskontinuierlichen Messverfahren sind in Tabelle 5 aufgelistet.

Die **Sondermessverfahren für die Anzahl und Größe feiner und ultrafeiner Partikel und für BC-Partikel** sind in Tabelle 6 und Tabelle 7 zusammengestellt. **Mobilitätsspektrometer** sind in der Lage, die Anzahlkonzentration und die Größe ultrafeiner Partikel zu bestimmen. Verschiedene Typen werden eingesetzt. In den meisten Messstationen wird mit einem TDMPs (Twin Differential Mobility Particle Sizer) gemessen, um einen möglichst weiten Partikelgrößenbereich zu erfassen. Das vom IfT gebaute TDMPs bestimmt die Anzahlkonzentration von Partikeln mit einem Mobilitätsdurchmesser von 3 bis 800 nm [Birmili, 1998]. In Leipzig-West ist ein SMPS der Firma TSI im Einsatz. Zur Erzielung der Vergleichbarkeit der Daten erfolgte die Messung nach harmonisierten technischen Standards (Wiedensohler, 2012). So wurden z. B. Round-Robin-Tests mit einem Referenz-SMPS und erstmalig Korrekturen der Diffusionsverluste der Partikel für jeden Messplatz durchgeführt.

Zur Bestimmung von Black Carbon (BC) dient einheitlich das MAAP 5012 von Thermo Scientific. Ein Absorptionskoeffizient von $6,6 \text{ m}^2/\text{g}$ wird benutzt. Nicht einheitlich sind die historisch gewachsenen Probenahmesysteme.

Tabelle 5: Messverfahren ohne Sondermessverfahren

Messgröße	Messverfahren, Bauart	Bemerkungen
NO, NO ₂ , NO _x	Chemolumineszenz	
PM ₁₀ -FDMS	Oszillierende Mikrowaage	Justierung der Daten über PM ₁₀ -HVS
Kfz-Zahlen	Induktionsschleife	LLÜ: Sick. Optische Erfassung
Temperatur	Thies – kombinierter Windgeber 4.3324.21.000	
Relative Feuchte	Thies – kombinierter Windgeber 4.3324.21.000	
Druck	Thies – Barogebler 3.1150.10.015	
Windrichtung	Thies – kombinierter Windgeber 4.3324.21.000	
Windgeschwindigkeit	Thies – kombinierter Windgeber 4.3324.21.000	
Globalstrahlung	Thies Pyranometer CM3 7.1415.03.000 (305...2800nm)	
Niederschlag	Pluviometer	
PM ₁₀ -HVS	Filtersammlung und Labor-Gravimetrie	
PM _{2,5} -HVS	Filtersammlung und Labor-Gravimetrie	
PM ₁ -HVS	Filtersammlung und Labor-Gravimetrie	
Impaktor	5- und 10-stufiger Impaktor	Details in Anlage 4
EC und OC	VDI 2465 Blatt 01	

Tabelle 6: Sondermessverfahren für Anzahl und Größe feiner und ultrafeiner Partikel im Jahr 2010

Messstation	DDN	LMI	LEI	LWE	LIT	MEL
Messbeginn	2001	1.7.2010	2003	1.7.2010	2005	2005
Vorabscheider	PM ₁₀ -Einlass, PM ₁ -Zyklon	PM ₁₀ -Einlass	PM ₁₀ -Einlass, PM ₁ -Zyklon	PM ₁₀ -Einlass	PM ₁₀ -Einlass	PM ₁₀ -Einlass
Trockner	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Mobilitätsspektrometer	TDMPs	TDMPs	TDMPs	SMPS-TSI	TDMPs	TDMPs
Messbereich für Partikelgröße	3 – 800 nm	3 – 800 nm	3 – 800 nm	20 - 550 nm	3 – 800 nm	3 – 800 nm

Tabelle 7: Sondermessverfahren für Ruß_{BC} mit MAAP5012 Thermo Scientific im Jahr 2010

Messstation	DDN	LMI	LEI	LWE	LIT	MEL
Messbeginn	1.1.2010	1.7.2010	2008	1.7.2010	2008	2008
Vorabscheider	PM ₁₀ -Einlass, PM ₁ -Zyklon	PM ₁₀ -Einlass	PM ₁₀ -Einlass, PM ₁ -Zyklon	PM ₁₀ -Einlass	PM ₁₀ -Einlass	PM ₁₀ -Einlass
Trockner	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Absorptionsphotometer	MAAP	MAAP	MAAP	MAAP	MAAP	MAAP

3 Luftqualität im Jahr 2010

3.1 Gesetzliche Beurteilung der Luftqualität 2010 in Leipzig und Dresden

Rechtsgrundlage

Mitte der 90er Jahre führten neue Erkenntnisse der Wirkungsforschung und Bewertung durch die WHO sowie Aktivitäten der Europäischen Union zur Verabschiedung der Luftqualitätsrahmenrichtlinie 1996/62/EG [EU-RL, 1996] und zu europaweiten Immissionsgrenzwerten in den nachfolgenden vier Tochterrichtlinien [EU-RL, 1999], [EU-RL, 2000], [EU-RL, 2002], [EU-RL, 2004]. Den Mitgliedsstaaten wurde die Aufgabe erteilt, die Luftqualität dort zu erhalten wo sie gut ist und dort zu verbessern, wo sie schlecht ist.

Die 1. Tochterrichtlinie 1999/30/EG [EU-RL, 1999] enthielt beispielsweise Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Partikel und Blei zum Schutz der menschlichen Gesundheit. So wurde bereits im April 1999 beschlossen, dass der PM₁₀-Grenzwert von 35 zulässigen Überschreitungstagen mit mehr als 50 µg/m³ pro Kalenderjahr ab dem 1.1.2005 und der NO₂-Jahresmittel-Grenzwert von 40 µg/m³ ab dem 1.1.2010 einzuhalten sind. In Gebieten mit hoher Luftverschmutzung waren Maßnahmepläne aufzustellen, um die Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit zu den vorgegebenen Fristen einzuhalten.

Die Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 [EU-RL, 2008] wurde in der 39. BImSchV im August 2010 [BImSchV, 2010] in nationales Recht umgesetzt. Neben der Übernahme der Grenzwerte für PM₁₀ und NO₂ wurde ein Jahresmittel-Grenzwert von 25 µg/m³ für PM_{2,5} eingeführt, der ab dem 1.1.2015 einzuhalten ist. Ein nationales Reduzierungsziel für PM_{2,5} für 2020 gegenüber 2010 wurde festgelegt. Außerdem wurde die Möglichkeit geschaffen, unter bestimmten Voraussetzungen die Fristen bis zur Einhaltung der PM₁₀-Grenzwerte bis 11. Juni 2011 und der NO₂-Grenzwerte bis 2015 zu verlängern.

Messergebnisse für PM₁₀, PM_{2,5} und NO₂

Tabelle 8 enthält die Messergebnisse. Der **PM₁₀-Jahresmittelgrenzwert** von 40 µg/m³ wurde an keiner der Messstationen im Jahr 2010 überschritten. Der seit 2005 einzuhaltende **PM₁₀-Tagesgrenzwert** (50 µg/m³ bei 35 zulässigen Überschreitungstagen) wurde an allen vier verkehrsnahen Messstationen in Leipzig (LMI, LLÜ) und Dresden (DDN, DDB) im Jahr 2010 überschritten. Die Belastung an den städtischen Hintergrund-Messstationen (LWE, DDW) lag in beiden Ballungsräumen deutlich unter dem Grenzwert. Der **PM_{2,5}-Jahresmittelgrenzwert** von 25 µg/m³, der ab dem Jahr 2015 einzuhalten ist, wurde bereits im Jahr 2010 an allen Messstationen in Leipzig und Dresden eingehalten.

Der seit 1.1.2010 einzuhaltende **NO₂-Jahresmittelgrenzwert** von 40 µg/m³ wurde an drei der vier verkehrsnahen Messstationen in Leipzig (LMI, LLÜ) und Dresden (DDB) im Jahr 2010 überschritten. Die Belastung an den städtischen Hintergrund-Messstationen lag in beiden Ballungsräumen deutlich unter dem Grenzwert.

Ergebnis der Beurteilung

In den Städten Leipzig und Dresden konnte für Menschen, die an viel befahrenen Straßen wohnen oder sich dort aufhalten, die Einhaltung der Grenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit für PM₁₀ und NO₂ im Jahr 2010 nicht gewährleistet werden. Die Anzahl der Überschreitungstage des PM₁₀-Grenzwertes war an den verkehrsnahen Messstellen in Leipzig mit 41 und 49 Tagen höher als in Dresden mit 37 und 40 Tagen.

Tabelle 8: Jahresmittelwerte für PM₁₀, PM_{2,5} und NO₂ im Jahr 2010 und deren Beurteilung mit den Grenzwerten der 39. BImSchV im Ballungsraum Leipzig und Dresden

(Grenzwertüberschreitungen sind in der Tabelle grau unterlegt)

Luftschadstoff Kenngröße	PM ₁₀ Jahresmittelwert in µg/m ³	PM ₁₀ Anzahl von Tagen größer 50 µg/m ³	PM _{2,5} Jahresmittelwert in µg/m ³	NO ₂ Jahresmittelwert in µg/m ³
Leipzig-Mitte (LMI)	32	41	22	48
Leipzig-Lützner (LLÜ)	33	49	k. M.	45
Leipzig-West (LWE)	21	22	16	21
Dresden-Nord (DDN)	30	37	19	39
Dresden-Bergstraße (DDB)	31	40	21	50
Dresden-Winckelmannstr. (DDW)	22	18	18	23

k. M. = keine Messung

3.2 Meteorologischer Einfluss auf Feinstaub PM₁₀

Es ist bekannt, dass die meteorologischen Rahmenbedingungen auf die Ausbreitung von Luftschadstoffen und damit deren Konzentration vor Ort einen großen Einfluss besitzen. Besonders partikuläre Luftschadstoffe können je nach Partikelgröße lange in der Atmosphäre getragen werden, ehe sie z. B. durch Niederschlag ausgewaschen werden. In Jahren mit extrem langen Trockenperioden werden z. B. für Feinstaub PM₁₀ hohe Jahresmittelwertkonzentrationen ermittelt, wie das meteorologische Extremjahr 2003 deutschlandweit zeigte [LfULG, 2011b]. Demgegenüber fällt der Jahresmittelwert in einem regenreichen Jahr geringer aus. Auch extrem tiefe Temperaturen im Winter, die einen erhöhten Heizungsbedarf, verbunden mit vermehrten Feinstaubemissionen besonders aus der Verbrennung von Festbrennstoffen (Kohle, Holz) verursachen, lassen den Jahresmittelwert ansteigen. Weiterhin spielen die Windgeschwindigkeit sowie die Höhe und Ausbildung einer Inversionsschicht für die Verdünnung und Verteilung von Emissionen eine wichtige Rolle. Auch anhaltende Hochdruck-Wetterlagen mit Ost- und Südostanströmung können mit Schadstoffen vorbelastete Luftmassen nach Sachsen transportieren und verursachen zeitweise flächenhaft hohe Schadstoffkonzentrationen in Sachsen, die im Wesentlichen aber von Quellen außerhalb Sachsens stammen.

Eine Korrektur des meteorologischen Einflusses auf den PM₁₀-Jahresmittelwert wäre wünschenswert, um z. B. den relativ kleinen Einfluss einer Umweltzone auf die Änderung des PM₁₀-Jahresmittelwertes festzustellen. Eine Normierung meteorologischer Auswirkungen auf PM₁₀-Jahresmittelwerte gelingt jedoch nicht befriedigend [Kühne, 2009]. Deshalb wird nachfolgend der Versuch unternommen, ein langjähriges PM₁₀-Referenzniveau mit einer jährlichen PM₁₀-Schwankungsbreite repräsentativ für den Raum Leipzig und Dresden zu bestimmen.

Messorte in den Ballungsräumen sind zur Bestimmung eines solchen PM₁₀-Referenzniveaus ungeeignet, da dort städtische Veränderungen in unmittelbarer Nähe fast jeder Messstation mehr oder minder die PM₁₀-Jahresmittelwerte beeinflussten. Solche Einflüsse sind z. B. lokale Bauarbeiten, Veränderung der Belüftung durch Abriss oder Bebauung, Änderung des Fahrbelages, veränderte Anzahl an Kraftfahrzeugen oder Beginn eines Durchgangsverbotes für LKW. Der Einfluss ist dort besonders groß, da eine geringe Entfernung zwischen Emissionsquelle und Immissions-Messort besteht. Deshalb sind Messorte im regionalen Hintergrund besser geeignet, da sich diese Messstationen möglichst weit entfernt von starken Quellen befinden.

Vier sächsische regionale Hintergrund-Messstationen mit langen Messreihen wurden für die Auswertung ausgewählt, um robuste Aussagen zu erhalten. Abbildung 5 zeigt den Verlauf der PM₁₀-Jahresmittelwerte der vier Messstationen im Zeitraum von 1999 bis 2010. Der Verlauf der vier Messstationen ist recht ähnlich, aber auf unterschiedlichem Konzentrationsniveau. Die zugehörige statistische Auswertung ist in Tabelle 9 zu finden. Über den 12-jährigen Zeitraum wurde für die vier Messstationen eine PM₁₀-Reduzierung von 0,2 µg/m³ berechnet. Dies entspricht einer mittleren Änderung um 0,02 µg/m³ bzw. 0,1 % pro Jahr. Aufgrund des kleinen Änderungswertes wird eine mögliche Trendkorrektur als nicht erforderlich angesehen. Da kein Trend nachweisbar ist, wurde ein PM₁₀-Referenzniveau über die zwölf Jahre gebildet. Dieses langjährige PM₁₀-Referenzniveau für den regionalen Hintergrund beträgt 19,4 µg/m³.

Der aus den vier Messstationen gebildete jährliche regionale Hintergrundwert, der als Hintergrundwert für Leipzig und Dresden angenommen wird, kann nun mit dem langjährigen Referenzwert verglichen werden. Die daran ermittelte jährliche Schwankungsbreite des PM₁₀-Hintergrundwertes beträgt 3,1 µg/m³ oder 16 %. Diese jährliche Schwankungsbreite wird als meteorologisch bedingte Schwankung der PM₁₀-Jahresmittelwerte interpretiert. Einzelwerte sind in Tabelle 10 aufgelistet.

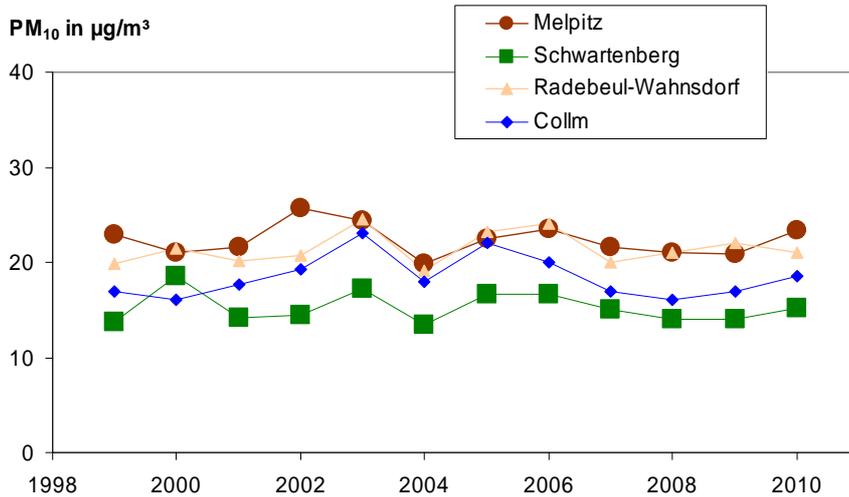


Abbildung 5: PM₁₀-Jahresmittelwerte von vier regionalen Hintergrundmessstationen in Sachsen in den vergangenen 12 Jahren

Tabelle 9: Statistische Auswertung der PM₁₀-Jahresmittelwerte der regionalen Hintergrund-Messstationen

Messstation		MEL	COL	SWB	RWD	Mittel
PM ₁₀ -Mittelwert von 1999 bis 2010 in µg/m ³		22,4	18,4	15,3	21,5	19,4
PM ₁₀ -Trend von 1999 bis 2010 ³ µg/m ³	in	-0,8	0,1	-0,9	0,9	-0,2
	Prozentual	-3,4%	0,5%	-5,7%	4,2%	-1,1%
Rechnerische mittlere PM ₁₀ -Änderung pro Jahr	in µg/m ³	-0,1	0,0	-0,1	0,1	0,0
	Prozentual	-0,3%	0,0%	-0,5%	0,3%	-0,1%
PM ₁₀ -Schwankungsbreite ⁴ durch Meteorologie	in µg/m ³	3,3	4,7	3,4	3,6	3,1
	Prozentual	15%	26%	22%	17%	16%

Tabelle 10: PM₁₀-Referenzniveau für den regionalen Hintergrund sowie jährliche Abweichungen

Kalenderjahr bzw. Bezugszeitraum	Regionaler Hintergrund µg/m ³	Absolute Abweichung µg/m ³	Relative Abweichung
1999	18,4	-1,0	-5 %
2000	19,3	-0,1	-1 %
2001	18,4	-1,0	-5 %
2002	20,0	0,7	3 %
2003	22,3	2,9	15 %
2004	17,6	-1,8	-9 %
2005	21,1	1,7	9 %
2006	21,1	1,7	9 %
2007	18,4	-1,0	-5 %
2008	18,0	-1,4	-7 %
2009	18,5	-0,9	-5 %
2010	19,5	0,1	0,5 %
12-jähriges Referenzniveau	19,4		

³ Berechnung über die Ausgleichsfunktion für 1999 und 2010 mittels lineare Regression der Jahresmittelwerte

⁴ Vertrauensbereich der Jahresmittelwerte für eine statistische Sicherheit von 95 %

3.3 Jahresmittelwerte an den für die Umweltzone relevanten Messstationen

3.3.1 Feinstaub PM₁₀

Die PM₁₀-Jahresmittelwerte aller Messstationen enthält Abbildung 6. Die höchsten PM₁₀-Jahreswerte 2010 wurden an den städtischen Straßen gemessen. Sie lagen zwischen 30 und 33 µg/m³. Spitzenreiter war die Lützner Straße in Leipzig (LLÜ) mit 33 µg/m³. Leipzig-Mitte (LMI) und Dresden-Bergstraße (DDB) waren nahezu gleich belastet. Dresden-Nord (DDN) lag bei knapp 30 µg/m³. Der Mittelwert der verkehrsnahen Messstationen war 31,5 µg/m³ mit einer Standardabweichung von 1,5 µg/m³ bzw. 5 %.

Die Konzentration sank deutlich vom Rand einer vielbefahrenen Straße hin zum städtischen Hintergrund um etwa 10 µg/m³ oder einem Drittel.

Die PM₁₀-Jahresmittelwerte der vier Messstationen im regionalen Hintergrund zeigten eine größere Schwankungsbreite untereinander. Der Mittelwert betrug 19,5 µg/m³ und die Standardabweichung 3,5 µg/m³ bzw. 18 %. Die relative Standardabweichung der vier regionalen Hintergrundmessstationen war damit mehr als 3-mal so hoch wie die der vier verkehrsnahen Messstationen. Der Mittelwert des regionalen Hintergrundes lag nur um 1,2 µg/m³ unter dem Mittelwert der städtischen Hintergrundmessstellen.

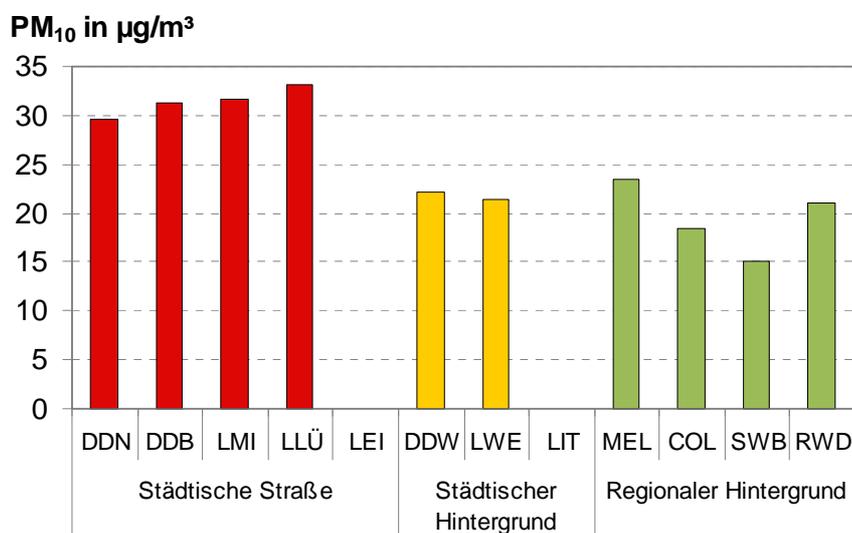


Abbildung 6: PM₁₀-Jahresmittelwerte 2010

3.3.2 Anzahl der PM₁₀-Überschreitungstage

Die größte Anzahl der Überschreitungstage trat an den städtischen Straßenmessstellen auf. An allen verkehrsnahen Messorten wurde der PM₁₀-Grenzwert von 35 Tagen überschritten. Spitzenreiter war die Straßenschlucht der Lützner Straße in Leipzig (LLÜ) mit 49 Überschreitungstagen. Gegenüber den verkehrsnahen Orten reduzierte sich die Anzahl der Überschreitungstage im städtischen Hintergrund etwa auf die Hälfte und im regionalen Hintergrund auf ein Drittel (vgl. Abbildung 7).

Anzahl der Tage mit $PM_{10} > 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

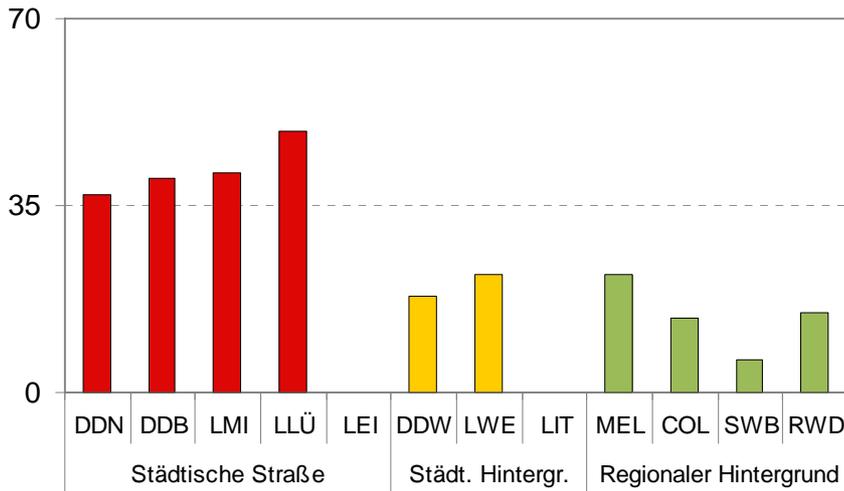


Abbildung 7: Anzahl der Tage im Jahr 2010 mit mehr als $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10}

3.3.3 Feinstaub $PM_{2.5}$

Für Feinstaub $PM_{2.5}$ sind weniger Messorte als für PM_{10} vorhanden. Abbildung 8 zeigt die $PM_{2.5}$ -Jahresmittelwerte. Die verkehrsnahen Messstellen (DDB, DDN, LMI) besitzen auch für $PM_{2.5}$ die höchsten Werte. Das Mittel dieser drei Messstationen beträgt $20,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit einer Standardabweichung von $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 7 %. Der Unterschied zum städtischen Hintergrund oder regionalen Hintergrund ist jedoch nicht so deutlich wie beim PM_{10} . Große Unterschiede werden im regionalen Hintergrund für beide Messorte deutlich. Der Mittelwert betrug $16,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und die Standardabweichung $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 24 %.

Der $PM_{2.5}$ -Jahresmittelwert von Melpitz (MEL) ist auffällig, da ein gleich hohes $PM_{2.5}$ -Niveau wie an der verkehrsnahen Messstation in Dresden-Nord (DDN) und ein höheres Niveau als im städtischen Hintergrund (DDW, LWE) gemessen wurde. Dies widerspricht der allgemeinen Erkenntnis, dass die Feinstaubbelastung vom regionalen Hintergrund zum Ballungsraum zunimmt. Im Kapitel 5.2 wird später gezeigt, dass vorbelastete Luftmassen aus dem Osten durch Ferntransport im Winter Melpitz, aber nicht immer Leipzig und Dresden erreichten und in Melpitz die Mischungsschicht aufgrund der geringeren Rauigkeit an kalten Wintertagen stärker absinken kann als in der Stadt. Es wird vermutet, dass dies zu den erhöhten PM_{10} - und $PM_{2.5}$ -Werten in Melpitz, die auf etwa $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Partikelmasse geschätzt wurden, führte (vergl. auch Anlage 2).

$PM_{2.5}$ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

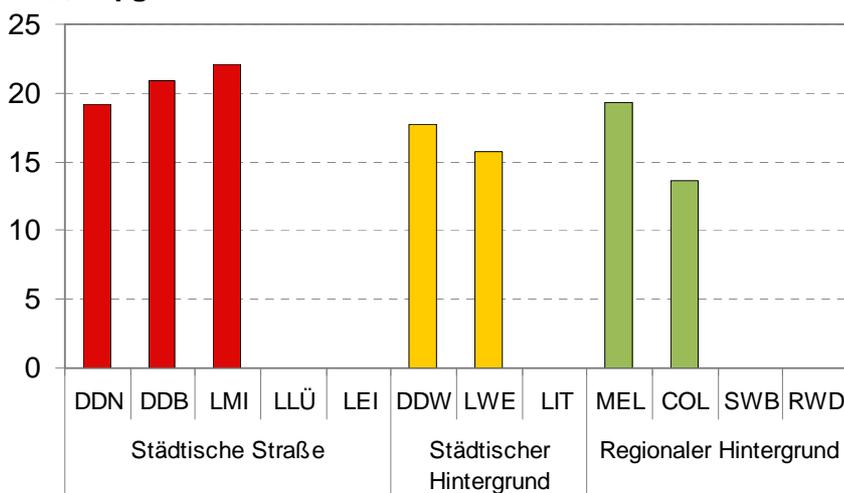


Abbildung 8: $PM_{2.5}$ -Jahresmittelwerte 2010

3.3.4 Ruß als elementarer Kohlenstoff (EC) im PM₁₀

Ruß definiert sich über das Messverfahren. Die Ruß-Konzentration der Außenluft kann aus der chemischen Analyse des elementaren Kohlenstoffs (Elemental Carbon = EC) im PM₁₀ bestimmt werden. Sie wird nachfolgend als Ruß_{EC,PM10} oder verkürzt Ruß_{EC} bzw. EC bezeichnet. Eine weitere Ruß-Messmethode wird im Kapitel 3.3.5 vorgestellt. Aus Kostengründen erfolgte die Bestimmung von Ruß_{EC} nach einem Messplan an jedem 6. Tag im Jahr. Die daraus ermittelten Jahresmittelwerte sind als Orientierung anzusehen. Nur für die IFT-Messstation Melpitz (MEL) liegt eine tägliche Probenahme vor.

Abbildung 9 zeigt, dass die Ruß_{EC}-Konzentration an den städtischen Straßen deutlich höher als an anderen Orten war. Die Ruß-Emissionen der vorbeifahrenden Dieselfahrzeuge sind hauptsächlich dafür verantwortlich. Der höchste Wert lag in Dresden an der Bergstraße (DDB). Dort ist eine Steigung von 6 % für die vorbeifahrenden Fahrzeuge zu überwinden. Die Emissionen der Dieselfahrzeuge waren entsprechend hoch. Der Mittelwert aus vier verkehrsnahen Messstationen betrug 3,6 µg/m³ mit einer Standardabweichung von 0,6 µg/m³ bzw. 17 %. Die Standardabweichung für Ruß_{EC} an den städtischen Straßenmessstationen war damit 3-mal so hoch wie für PM₁₀ und 2-mal so hoch wie für PM_{2,5}. Dies lässt in der Ruß_{EC}-Bestimmung ein empfindlicheres Immissionsmessverfahren für Fahrzeugemissionen erkennen.

Die Ruß_{EC}-Konzentration im städtischen Hintergrund lag im Mittel etwa bei 2,1 µg/m³ und damit um etwa 1,5 µg/m³ geringer als an der Straße. Im regionalen Hintergrund wurden im Mittel 1,7 µg/m³ festgestellt. Die Standardabweichung als Maß für die Schwankungsbreite der Werte an verschiedenen Orten im städtischen und regionalen Hintergrund ist nicht größer als 0,2 µg/m³ bzw. 10 % und damit deutlich geringer als für PM₁₀ und PM_{2,5} im regionalen Hintergrund.

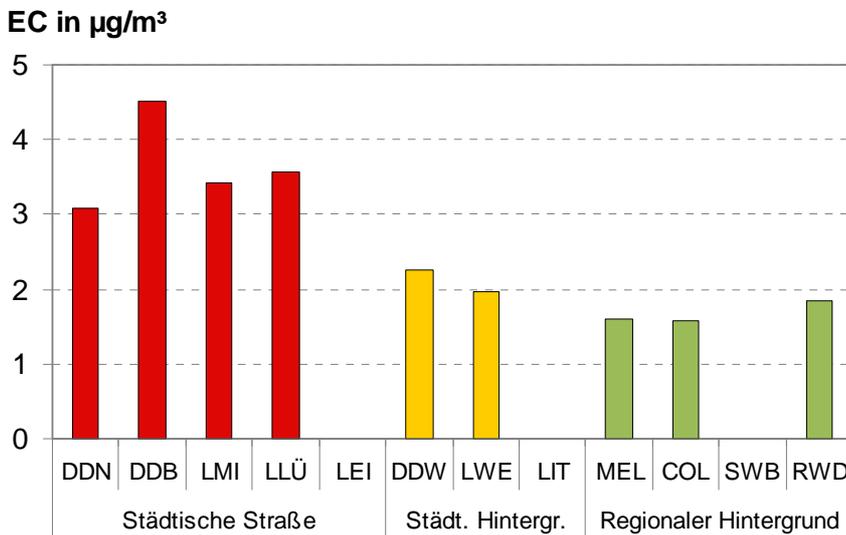


Abbildung 9: Orientierende Ruß_{EC}-Jahresmittelwerte im PM₁₀ 2010

3.3.5 Ruß als schwarzer Kohlenstoff (BC) im PM₁₀

Die Rußkonzentration der Außenluft kann auch über eine optische Methode ermittelt werden. Die Schwärze der Partikel (Black Carbon = BC) wird über ein kontinuierliches Messverfahren bestimmt, wobei Ruß_{BC} oder kurz BC nicht direkt vergleichbar mit Ruß_{EC} ist.

In Dresden-Nord (DDN) wurde Ruß_{BC} über einen PM₁-Vorabscheider gemessen, um möglichst die kleinsten Rußpartikel der Diesel-Kfz-Emissionen zu bewerten. An allen anderen Messstationen wurde Ruß_{BC} über einen PM₁₀-Vorabscheider gemessen. Die Minderung für BC mit PM₁ gegenüber PM₁₀ wird auf etwa 10 % geschätzt [Wiedensohler, 2011]. Es erfolgte keine Korrektur der Jahresmittelwerte für Ruß_{BC} nach der Art des Vorabscheiders.

Auch für Ruß_{BC} wurden die höchsten Konzentrationen am Straßenrand gemessen. Leipzig-Mitte (LMI) lieferte den höchsten Wert mit 3,6 µg/m³, wobei dieses Messverfahren leider nicht in Dresden-Bergstraße vorhanden war. Das Mittel der drei Messstationen lag bei 2,9 µg/m³. Im städtischen Hintergrund wurden 1,5 µg/m³ und im regionalen Hintergrund 1,1 µg/m³ ermittelt.

BC in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

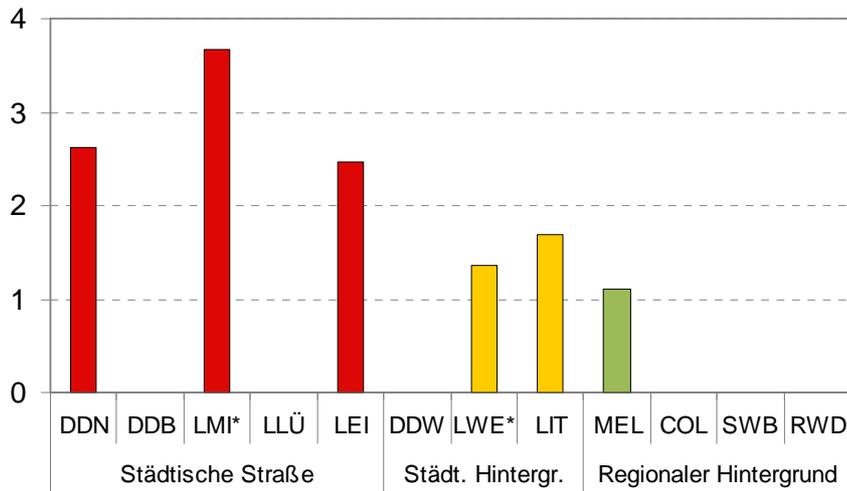


Abbildung 10: Ruß_{BC}-Jahresmittelwerte im Feinstaub 2010 (Messung mit Vorabscheider PM₁ in DDN und mit Vorabscheider PM₁₀ in LMI, LEI, LWE und MEL. LWE* und LMI* mit reduziertem Datensatz - nur im 2. Halbjahr 2010)

3.3.6 Partikelanzahl im Partikelgrößenbereich von 30 bis 200 nm

Die Partikelanzahl wird kontinuierlich mit Mobilitätsspektrometern vom Typ SMPS oder TDMPS gemessen. Aus der ermittelten Partikelgrößenverteilung, die i. d. R. für Partikeldurchmesser von 10 nm bis 800 nm bestimmt wird, wird in diesem Bericht ein reduzierter Partikelgrößenbereich von 30 nm bis 200 nm bewertet und mit der Partikelanzahl PN_{30-200nm} bezeichnet. Der reduzierte Partikelgrößenbereich ist aus den Ergebnissen von Prüfstandmessungen mit Dieselmotoren abgeleitet worden. In diesem Bereich ist die Mehrzahl der emittierten Rußpartikel von Dieselmotoren vorhanden [ACEA, 1999]. Bei der Interpretation der Messdaten PN_{30-200nm} ist zu beachten, dass sowohl die Messunsicherheit für PN_{30-200nm} etwa doppelt so groß ist wie die der PM₁₀-Messung [Löschau, 2011b] und als auch die Messungen in LMI und LWE nur im 2. Halbjahr 2010 stattfanden.

Die höchste Partikelanzahlkonzentration PN_{30-200nm} wird in Leipzig-Mitte (LMI) mit 9.400 Partikeln pro cm³ ermittelt. Die Straßenschlucht in Leipzig-Eisenbahnstraße (LEI) ist mit 7.500 Partikeln pro cm³ noch deutlich höher belastet als der gut durchlüftete Schlesische Platz in Dresden (DDN) mit 6.600 Partikeln pro cm³. Die Partikelbelastung sinkt im städtischen Hintergrund auf rund 4.000 Partikel pro cm³ an LWE bzw. 4.700 an LIT. Die geringste Partikelbelastung wird im regionalen Hintergrund in Melnitz (MEL) mit 3.300 Partikeln pro cm³ registriert.

PN_{30-200nm} in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

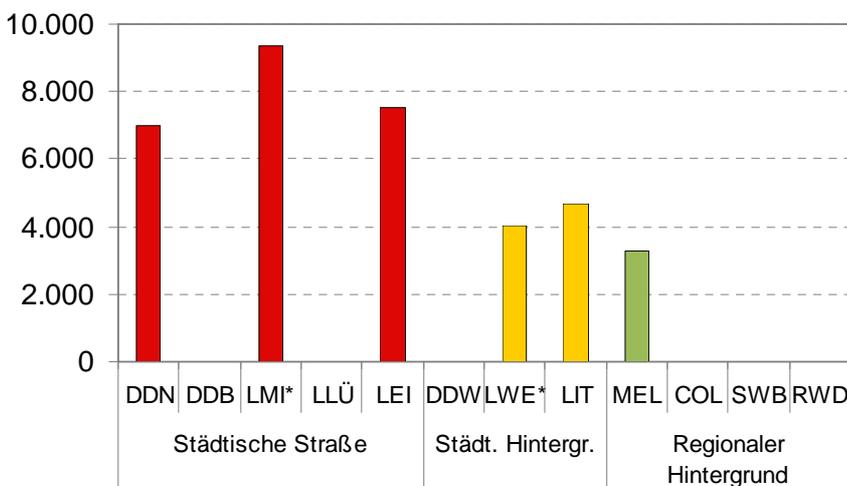


Abbildung 11: PN_{30-200nm}-Jahresmittelwerte 2010 (LWE* und LMI* mit reduziertem Datensatz - nur im 2. Halbjahr 2010)

3.3.7 Berechnete Partikelmasse im Partikelgrößenbereich von 30 bis 200 nm

Die Partikelmasse $PM_{30-200nm}$ wurde aus der Partikelanzahlverteilung im Partikelgrößenbereich von 30 bis 200 nm über die Partikelvolumenverteilung berechnet. Dabei wurde eine mittlere Partikeldichte von $1,5 \text{ g/cm}^3$ angenommen [Rasch, 2011]. Bedingt durch verschiedene Partikelgrößenverteilungen an den einzelnen Messorten sind die ermittelten Werte für die Partikelmasse nicht proportional der Partikelanzahl.

Die Partikelmasse $PM_{20-300nm}$ war an den verkehrsnahen Messstellen DDN, LMI und LEI am höchsten. Auffällig ist, dass die Belastung im städtischen Hintergrund in LWE geringer als im regionalen Hintergrund MEL war. Für PM_{10} und $PM_{2,5}$ wurde die gleiche Relation, nicht aber für $Ru\beta_{EC}$, $Ru\beta_{BC}$ und $PN_{20-300nm}$ festgestellt.

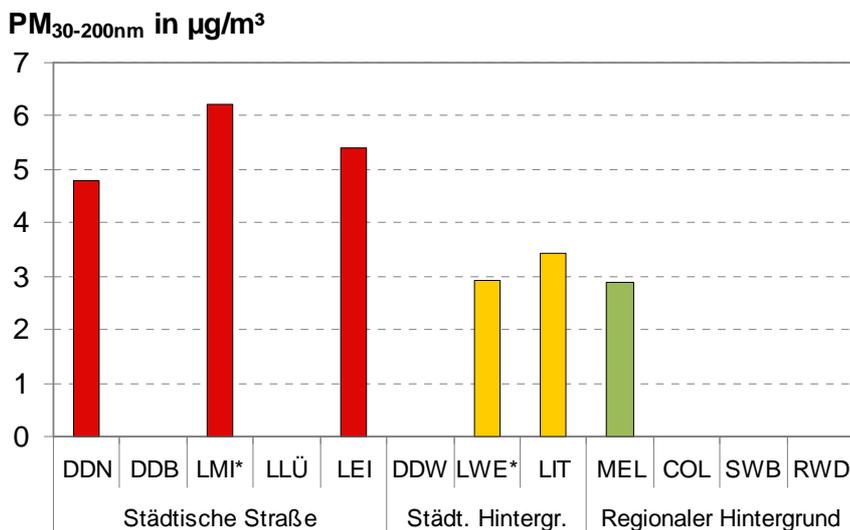


Abbildung 12: Jahresmittelwerte für die aus der Partikelanzahlverteilung berechnete Partikelmasse $PM_{30-200nm}$ 2010 (LWE* und LMI* mit reduziertem Datensatz - nur im 2. Halbjahr 2010)

3.3.8 Partikelanzahl-Größenverteilung

Die Partikelanzahl-Größenverteilung stellt dar, wie häufig Partikel welcher Größe vorhanden sind. Abbildung 13 zeigt die mittlere Häufigkeitsverteilung der Partikelanzahlkonzentration für das Kalenderjahr 2010 an sechs Messorten. Die x-Achse mit dem Partikeldurchmesser ist logarithmisch geteilt, um den weiten Partikelgrößenbereich von 10 bis 800 nm empfindlich darzustellen.

Das Maximum der Partikelanzahlkonzentration lag je nach Messort im Bereich von 10 nm bis 54 nm. Für die verkehrsnahen Messstellen (DDN, LMI, LES) liegt das Maximum der Anzahlkonzentration bei extrem kleinen Partikeldurchmessern (14 bis 28 nm) während es durch die größere Quellenentfernung im regionalen Hintergrund zu größeren Partikeln hin verschoben ist (MEL 54 nm). Der Partikeldurchmesser für das Maximum in LIT ist mit 10 nm extrem klein und widerspricht bisherigen Messungen im städtischen Hintergrund [Birmili, 2006], [Löschau, 2011a]. Möglicherweise ist in unmittelbarer Nähe eine Verbrennungsquelle, wie z. B. eine Heizungsanlage vorhanden, die die Partikelverteilung für den städtischen Hintergrund verändert.

Das Partikelniveau des Maximums ist an den verkehrsnahen Messstellen am größten (LMI, LEI, DDN) und wird im städtischen Hintergrund (LWE, LIT) kleiner und ist im regionalen Hintergrund (MEL) am kleinsten.

Rechts vom Maximum zu größeren Partikeln hin wird die Differenzierung der Partikelanzahlkonzentration an den verschiedenen Messorten sehr anschaulich. Bei einer Partikelgröße von etwa 80 nm wird die Differenzierung der Partikelkonzentration zwischen verkehrsnah (LMI, LES, DDN), städtischer Hintergrund (LIT, LWE) und regionaler Hintergrund (MEL) sehr gut erkennbar. Bei dieser Partikelgröße in etwa ist das Maximum der Rußemission der Dieselfahrzeuge zu erwarten [ACEA, 1999]. In Tabelle 11 sind die Konzentrationsverhältnisse gegenüber dem regionalen Hintergrund MEL aufgelistet. Nach der Einführung

der Umweltzone in Leipzig sollten sich diese Verhältnisse ändern. Für noch größere Partikel laufen die Konzentrationen i. d. R. an allen Standorten zusammen.

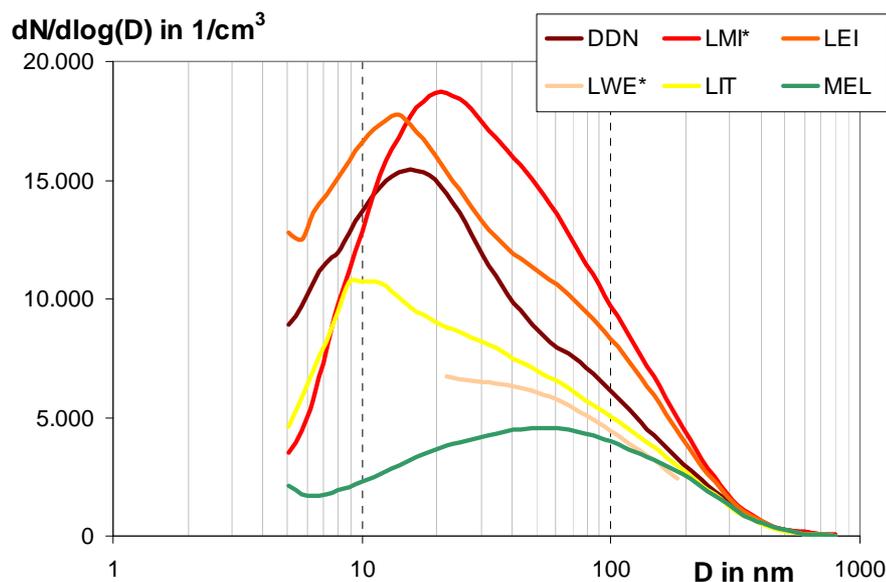


Abbildung 13: Jahresmittelwerte für die Partikelanzahlgrößenverteilung im Jahr 2010 für die verkehrsnahen Messstationen (DDN, LMI*, LEI), die städtischen Hintergrund-Messstationen LWE* und LIT sowie die regionale Hintergrundmessstation MEL (* reduziertem Datensatz für LMI und LWE - nur im 2. Halbjahr 2010)

Tabelle 11: Verhältnis der Partikelanzahlkonzentration für die Partikelgröße 80 nm gegenüber dem regionalen Hintergrund MEL im Jahr 2010

Messstation	DDN	LMI*	LEI	LWE*	LIT
Faktor für 80 nm gegenüber MEL	1,65	2,67	2,20	1,18	1,33

3.3.9 Stickstoffdioxid (NO₂) und Stickstoffoxide (NO_x)

Abbildung 14 zeigt die Jahresmittelwerte für NO₂ auf der linken Seite. An den Straßenmessstationen Dresden-Bergstraße (DDB), Leipzig Mitte (LMI) und Lützner Straße (LLÜ) überschreiten die 2010 gemessenen Werte den NO₂-Jahresmittelgrenzwert von 40 µg/m³. Spitzenreiter ist Dresden-Bergstraße (DDB) mit 50 µg/m³. Sehr deutlich ist die Stufung der Werte nach dem Typ der Messstation zu erkennen. Die höchsten Werte mit 39 bis 50 µg/m³ NO₂ besitzen die verkehrsnahen Messstationen. Gegenüber den städtischen Straßen sinkt die NO₂-Konzentration im städtischen Hintergrund auf etwa die Hälfte und im regionalen Hintergrund auf etwa ein Drittel.

Auf der rechten Seite der Abbildung werden die Jahresmittelwerte für Stickstoffoxide NO_x, d.h. hier die Summe aus NO und NO₂ dargestellt. Auch hier ist Dresden-Bergstraße Spitzenreiter mit 153 µg/m³. Für NO_x werden die hohen Konzentrationen an den Straßen gegenüber dem Hintergrund noch deutlicher als für NO₂. Für NO_x kommen neben den NO₂-Konzentrationen die hohen NO-Konzentrationen durch die Emissionen der vorbei fahrenden Fahrzeuge an der Straße hinzu. An der städtischen Straße ist die NO_x-Konzentration im Mittel 4-mal so hoch wie im städtischen Hintergrund und 8-mal so hoch wie im regionalen Hintergrund.

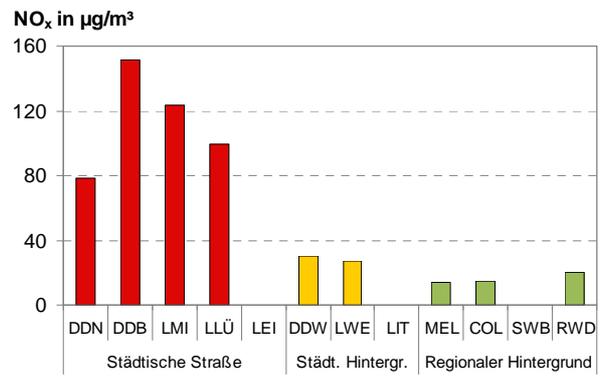
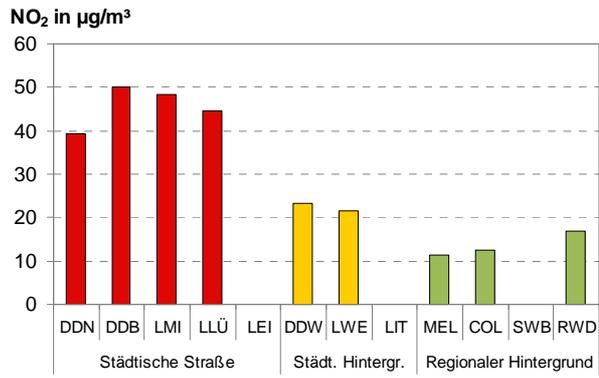


Abbildung 14: NO₂- und NO_x-Jahresmittelwerte 2010

4 Schätzung des Minderungspotentials einer Umweltzone an den städtischen verkehrsnahen Luftgüte-Messstationen

4.1 Ergebnisse der Kfz-Zählstellen und der Fahrzeugbestand 2010

Ergebnisse der Kfz-Zählung an den Messstellen

Die Daten von vier automatischen Kfz-Zählstellen [Nagel, 2011; Auspurg, 2011] wurden vier Luftgüte-Messstationen zugeordnet. Im Idealfall wird der Verkehr direkt an der Luftgüte-Messstation gezählt. Dies ist der Fall in Dresden-Bergstraße (DDB) und Leipzig-Lützner Str. (LLÜ). In Leipzig-Mitte (LMI) wird der Verkehr über den Kreuzungsbereich „Willi Brand-Platz“ gezählt, wobei die Luftgüte-Messstation an der Kreuzung zu einer wenig befahrenen Mündungsstraße steht.

In Dresden-Nord (DDN) ist nur eine relative Zuordnung möglich, da sich zwischen Kfz-Zählstelle und Luftgüte-Messstation eine Kreuzung befindet, die die Verkehrsströme teilt. Dadurch fahren weniger Kfz am Ort der Luftgüte-Messstelle als am Ort der Kfz-Zählstelle vorbei. Anhaltspunkte für die Relationen können die modellierten Kfz-Zahlen im Luftreinhalteplan Dresden im Jahr 2009 liefern. Im Verhältnis zur Kfz-Zählstelle fuhren 50 % der PKW und 60 % des SV direkt an der Messstation DDN vorbei und auf der nahegelegenen Kreuzung von B170 und B6 1,4-mal so viele PKW und SV-Fahrzeuge.

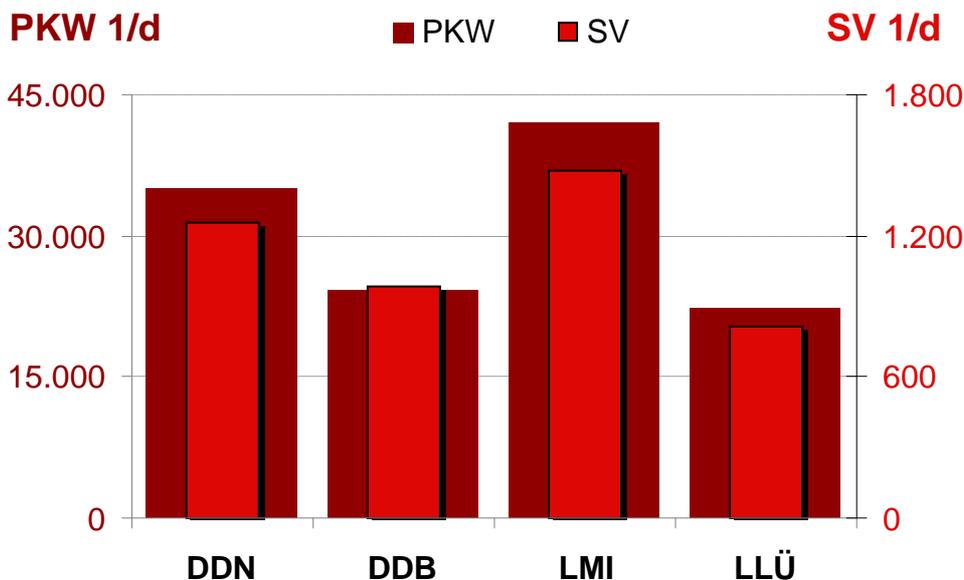


Abbildung 15: Jahresmittelwerte für die Anzahl der PKW und SV pro Tag im Jahr 2010

Die **Jahresmittelwerte** für die Kfz-Zählung der vier Verkehrszählstellen in werden im Abbildung 15 gezeigt. Die Anzahl der PKW ist an der linken Achse und die Anzahl der SV-Fahrzeuge an der rechten Achse zu finden. In Leipzig-Mitte (LMI) fuhren die meisten Fahrzeuge mit 42.000 PKW und 1.500 SV-Fahrzeuge pro Tag. An der Messstation Dresden-Bergstraße (DDB) fuhren täglich 24.000 PKW und 1.000 SV-Fahrzeuge vorbei. Die Messstation Leipzig-Lützner Str. (LLÜ) passierten täglich 22.000 PKW und 800 SV-Fahrzeuge und damit nur geringfügig weniger als an der Messstation Dresden-Bergstraße (DDB). Der SV-Anteil am Kfz-Verkehr war an allen vier Messstationen unter 4 %. Mit 3,9 % in DDB war er am höchsten und 3,4 % in LMI am geringsten.

Fahrzeugbestand 2010

Die Daten wurden der Statistik des Kraftfahrzeugbundesamtes [KBA, 2011] entnommen. Es wurde der Mittelwert aus dem Fahrzeugbestand vom 1.1.2010 und vom 1.1.2011 gebildet, um diese Zahlen dem Analysejahr 2010 der Luftschadstoffe zu zuordnen.

In Sachsen waren 2010 mehr als 2 Mio. **PKW** zugelassen. Der Anteil der Diesel-PKW betrug 19 % und war damit deutlich niedriger als der deutschlandweite Durchschnittswert von 27 %. In der Stadt Leipzig waren ebenfalls 19 % der PKW Dieselfahrzeuge, während in Dresden der Anteil mit 22 % etwas höher lag. Der Anteil an Diesel-PKW mit Euro 5 und besser ist mit rund 10 % in Dresden und Leipzig höher als im Landesdurchschnitt (Tabelle 12).

In Leipzig waren rund 16.000 und in Dresden rund 17.000 **Nutzfahrzeuge** 2010 angemeldet, wobei 6 % davon mit SKL-5 oder SKL-EEV ausgerüstet waren (Tabelle 13).

Der Bestand an **Kraftomnibusse**, die in den Nutzfahrzeugen enthalten sind, war im Jahr 2010 in Sachsen mit -2 % leicht und in der Stadt Leipzig mit -7 % rückläufig. In Leipzig fahren nur etwa 1/3 so viele Omnibusse wie in Dresden. Der Anteil der modernen Omnibusse mit SKL-5 oder SKL-EEV lag in Leipzig mit 34 % am höchsten, während er in Dresden 19 % und in Sachsen 14 % erreichte (Tabelle 14).

Tabelle 12: Fahrzeugbestand an PKW in Sachsen, der Stadt Dresden und der Stadt Leipzig als Mittelwert vom Bestand am 1.1.2010 und 1.1.2011 für das Analysejahr 2010 [KBA, 2011]

PKW	Sachsen			Dresden			Leipzig		
	insgesamt	davon Diesel		insgesamt	davon Diesel		insgesamt	davon Diesel	
	2.066.838	391.050	19%	204.746	44.417	22%	193.908	37.275	19%
davon schadstoffreduzierte	2.048.127	389.663		202.650	42.680		192.348	37.141	
davon									
Euro 1	143.447	6.176		12.795	611		13.782	535	
Euro 2	506.892	53.220		46.739	5.037		44.326	4.330	
Euro 3	398.182	128.711		38.927	12.722		36.658	11.210	
Euro 4	902.162	169.443		92.537	19.589		87.314	17.121	
Euro 5	86.406	29.225		10.965	4.439		9.376	3.602	
Euro 6	123	123		16	16		16	16	
Sonstige	10.916	2.767		673	268		877	330	
Euro 5 und 6		29.347			4.454			3.617	
Anteil an Diesel		7,5%			10,0%			9,7%	

Tabelle 13: Fahrzeugbestand an Nutzfahrzeugen in Sachsen, der Stadt Dresden und der Stadt Leipzig als Mittelwert vom Bestand am 1.1.2010 und 1.1.2011 für das Analysejahr 2010 [KBA, 2011]

	Sachsen	Dresden	Leipzig
Summe Nutzfahrzeuge	232.871	17.159	15.904
davon schadstoffreduzierte	174.405	14.664	14.032
davon			
SKL-S1	23.833	1.797	1.733
SKL-S2	39.648	3.227	2.850
SKL-S3	65.437	6.196	6.045
SKL-S4	19.296	2.086	1.820
SKL-S5	12.921	976	813
SKL-EEV	1.555	144	193
Euro 6	0	0	0
Sonstige	11.717	240	579
SKL-S5 und EEV	14.476	1.120	1.006
	6,2%	6,5%	6,3%

Tabelle 14: Fahrzeugbestand an Kraftomnibussen in Sachsen, der Stadt Dresden und der Stadt Leipzig [KBA, 2011]

	01.01.2010			01.01.2011			Änderung vom 1.1.2010 zum 1.1.2011		
	SN	DD	L	SN	DD	L	SN	DD	L
Kraftomnibusse	3.774	495	186	3.716	475	173	-58	-20	-13
davon schadstoffreduzierte	3.148	461	134	3.216	442	134	68	-19	0
davon									
SKL-S1	76	3	2	61	0	1	-15	-3	-1
SKL-S2	895	116	35	858	98	34	-37	-18	-1
SKL-S3	1.121	201	21	1.103	194	20	-18	-7	-1
SKL-S4	419	56	9	436	54	10	17	-2	1
SKL-S5	313	75	20	372	82	21	59	7	1
SKL-EEV	104	4	38	146	7	38	42	3	0
Euro 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sonstige	220	6	9	240	7	10	20	1	1
SKL-S5 und EEV	417	79	58	518	89	59			
Prozentualer Anteil	11,0%	16,0%	31,2%	13,9%	18,7%	34,1%			

4.2 Modellierung des PM₁₀-Immissionsanteiles durch den lokalen Verkehr mit den motorbedingten und nicht motorbedingten Emissionen

Die Zusatzbelastung durch den lokalen Verkehr wurde über die Modellierung, die auch in den Luftreinhalteplänen in Sachsen zur Anwendung kommt, für jede Messstation abgeschätzt.

Die PM₁₀-Zusatzbelastung durch den lokalen Verkehr wird an den vier Messstellen im Bereich von 15 % bis 25 % der PM₁₀-Belastung modelliert, wie in Tabelle 15 gezeigt wird. Diese PM₁₀-Zusatzbelastung des lokalen Verkehrs teilt sich in motorbedingte Emissionen (Auspuff) und nicht motorbedingte Emissionen (Aufwirblung, Abriebe) auf. Die für die Umweltzone relevanten motorbedingten Emissionen liefern einen PM₁₀-Immissionsanteil von 1,4 bis 2,2 µg/m³ bzw. 4 bis 7 % vom PM₁₀. Der abgeschätzte Immissionsanteil durch die Aufwirblung von Bodestaub und Abriebe von Bremsen, Reifen und Fahrbahn der vorbei fahrenden Fahrzeuge mit 3,3 bis 5,1 µg/m³ ist mehr als doppelt so groß wie der PM₁₀-Anteil durch motorbedingte Emissionen (Tabelle 15).

Tabelle 15: Vorläufige Angaben⁵ zu den modellierten PM₁₀-Anteilen an den verkehrsnahen Messstellen im Jahr 2010

	DDN	DDB	LMI	LLÜ
Absoluter PM₁₀-Anteil in µg/m³				
Zusatzbelastung durch lokalen Kfz-Verkehr	7,3	5,6	4,7	6,7
davon durch motorbedingte Emissionen	2,2	1,7	1,4	2,0
davon durch Aufwirblung und Abriebe	5,1	3,9	3,3	4,7
Prozentualer PM₁₀-Anteil am PM₁₀-Messwert				
Zusatzbelastung durch lokalen Kfz-Verkehr	25%	18%	15%	20%
davon durch motorbedingte Emission	7%	5%	4%	6%
davon durch Aufwirblung und Abrieb	17%	13%	10%	14%

⁵ Die Ergebnisse in Tabelle 15 sind noch vorläufige Angaben, da die Umsetzung des HBEFA3.1 nicht vollständig erfolgen konnte.

4.3 Schätzung der Immissionsanteile nach Verursacher durch Vergleich der Ergebnisse der Messstationen an verschiedenen typischen Orten

4.3.1 Vorgehensweise

Verursachergruppen der Luftschadstoffe können aus der Bilanz der Konzentrationsniveaus an den kategorisierten Messorten nach dem sogenannten Lenschow-Ansatz [Lenschow, 2001] abgeschätzt werden. Diese Methode wurde auf alle nachfolgenden Messergebnisse angewendet. Die Analyse erfolgte über den Mittelungszeitraum von 12 Monaten für das Kalenderjahr 2010 für die Orte der fünf verkehrsnahen Messstationen in Leipzig (LMI, LLÜ, LEI) und Dresden (DDN, DDB).

Der Mittelwert des Konzentrationsniveaus der vier regionalen Hintergrund-Messstationen (MEL, COL, SWB, RWD) wird als die mittlere **regionale Hintergrundbelastung** um die Ballungsräume Leipzig und Dresden angenommen. Die dafür verantwortliche erste Hauptverursachergruppe besteht sowohl aus Quellen innerhalb als auch außerhalb Sachsens. Schadstoffen aus dem Ferntransport, aber auch aus der Region Sachsen gehen ein.

Aus der Differenz des Konzentrationsniveaus der Messstation im städtischen Hintergrund (DDW, LWE, LIT) und dem mittleren regionalen Hintergrund ergibt sich die zweite Hauptverursachergruppe. Sie stellt eine **Mehrbelastung durch allgemeine Quellen aus dem Stadtgebiet** dar. Verursacher im Stadtgebiet sind eine Vielzahl von Einzelquellen, die zu Gruppen wie z. B. Industrie, Hausbrand und Verkehr zusammengefasst werden.

Die dritte Hauptverursachergruppe ergibt sich aus der Differenz des Konzentrationsniveaus der jeweiligen Messstation an der städtischen Straße und der Konzentration im städtischen Hintergrund. Sie wird als **Zusatzbelastung Verkehr an der Messstation** betrachtet. Dabei gehen die Emissionen der unmittelbar vorbeifahrenden Kraftfahrzeuge in den Immissionsanteil ein. Die Fahrzeuge verursachen dabei zahlreiche Emissionen verschiedener Herkunft. Sie können eingeteilt werden in motorbedingte Emissionen aus dem Auspuff (kurz **Motor**) und in nicht motorbedingte Emissionen, wie Aufwirblungen von Bodestaub durch die Fahrbewegung und Abriebe von Reifen, Bremsen und Straßenbelag (kurz **Aufwirblung und Abrieb**). Die motorbedingten Emissionen der Fahrzeuge sollen durch die Umweltzone reduziert werden. Eine Unterscheidung zwischen diesen zwei Verursachergruppen ist durch die Methodik Messstationsvergleich nicht möglich. Deshalb wird aus den Ergebnissen der Modellierung in Kap. 4.2 das Verhältnis von motorbedingten Emissionen zu nicht motorbedingte Emissionen genutzt, um die zwei lokalen Verkehrsanteile zu ermitteln⁶.

Die Methode zur Schätzung der Verursacheranteile geht von einer Reihe von Annahmen aus, die in der Praxis nur bedingt erfüllt werden. So wird unterstellt, dass vom regionalen Hintergrund über den städtischen Hintergrund zum verkehrsnahen Ort signifikante, steigende Konzentrationsniveaus vorliegen und auch die Verteilung der Schadstoffe durch den Wind gleichmäßig erfolgt. Die meteorologischen Rahmenbedingungen, die in Sachsen z. B. durch die vorherrschende Hauptwindrichtung aus West oder extrem trockene Ostwetterlagen geprägt werden, erhöhen die Unsicherheit der Ergebnisse. Weiterhin wird die Unsicherheit der Teilergebnisse der Verursacheranalyse zwangsläufig deutlich größer als die der Messung selbst, da es nicht mehr um die Gesamtbelastung geht, sondern um die Ausweisung von Differenzen, die darüber hinaus z. T. zu sehr kleinen Verursacheranteilen führen.

Aufgrund von Besonderheiten hinsichtlich Ostanströmung und Mischungsschichthöhe werden die Jahresmittelwerte PM_{10} und $PM_{2.5}$ in MEL für die Lenschow-Bilanz um $-2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ korrigiert. Details dazu sind in Anlage 2 zu finden.

⁶ Weiterhin wurden für die nicht motorbedingte Emissionen angenommen: 10 % für RußEC, 5 % für RußBC im PM_1 an DDN, 10 % für RußBC im PM_{10} an LMI und 0 % für $PN_{30-200nm}$.

4.3.2 Ergebnisse für PM₁₀, PM_{2.5}, Ruß, PN_{30-200nm} und PM_{30-200nm}

Die im Jahr 2010 gemessenen Immissionen an den verkehrsnahen Messstellen werden nachfolgend in Immissionsanteile nach Hauptverursachergruppen aufgeteilt und unter einer Reihe von Annahmen (vergl. Kap. 4.3.1) abgeschätzt. Die Abbildungen enthalten jeweils links die absoluten und rechts die relativen Werte. Die relativen Werte werden auf die am Ort gemessene (Gesamt)-Immission bezogen.

Abbildung 16 zeigt das Ergebnis der Schätzung der Hauptverursacher für PM₁₀. Der größte Anteil der vorhandenen Immission wurde im Jahr 2010 durch den regionalen Hintergrund verursacht. Es sind etwa 60 %. Etwa 10 % lieferten die allgemeinen Quellen im Stadtgebiet zur Belastung. Der PM₁₀-Anteil durch den lokalen Verkehr an der Messstation lag im Bereich von 26 % bis 34 %. Die absoluten PM₁₀-Anteile reichten von 8 µg/m³ bis 11 µg/m³. Die Straßenschlucht LLÜ erreichte den Spitzenwert. Dort behindert die enge Bebauung die Ausbreitung und damit Verdünnung der emittierten Luftschadstoffe. Aufwirblung und Abrieb der Fahrzeuge verursachten 19 bis 24 % vom PM₁₀. Die für die Umweltzone relevanten motorbedingten Emissionen der Fahrzeuge verursachten je nach Messstelle von 2,4 µg/m³ (DDN) bis 3,4 µg/m³ (LLÜ) PM₁₀ und waren damit im Bereich von 8 bis 10 % der Gesamtbelastung.

Die empirische Verursacherbilanz für die PM₁₀-Überschreitungstage im Kalenderjahr 2010 mit Tagesmittelwerten größer 50 µg/m³ enthält Kap. 4.3.4.

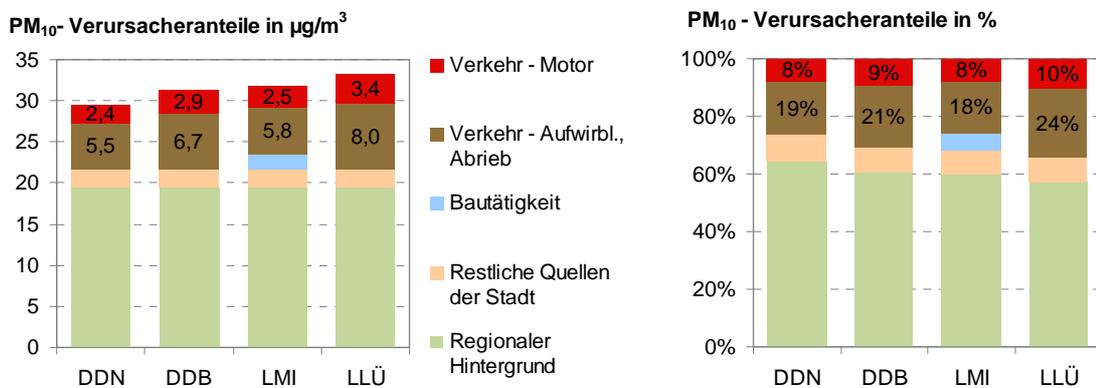


Abbildung 16: Anteile der Hauptverursacher für PM₁₀ im Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messorten

Das Ergebnis der Schätzung der Hauptverursacher für PM_{2.5} an drei verkehrsnahen Messstellen wird in Abbildung 17 gezeigt. Der Anteil des regionalen Hintergrundes wächst auf 70 bis 80 % der PM_{2.5}- Belastung. Der Anteil von Aufwirblung und Abrieb wird gegenüber PM₁₀ auf etwa ein Drittel reduziert, da im PM_{2.5} die größeren Partikel unbewertet bleiben. Die motorbedingten Emissionen der vorbei fahrenden Fahrzeuge wurden im Bereich von 1,5 µg/m³ (DDN) bis 2,7 µg/m³ (LMI) abgeschätzt. Dies entspricht 8 bis 12 % vom PM_{2.5}-Messwert.

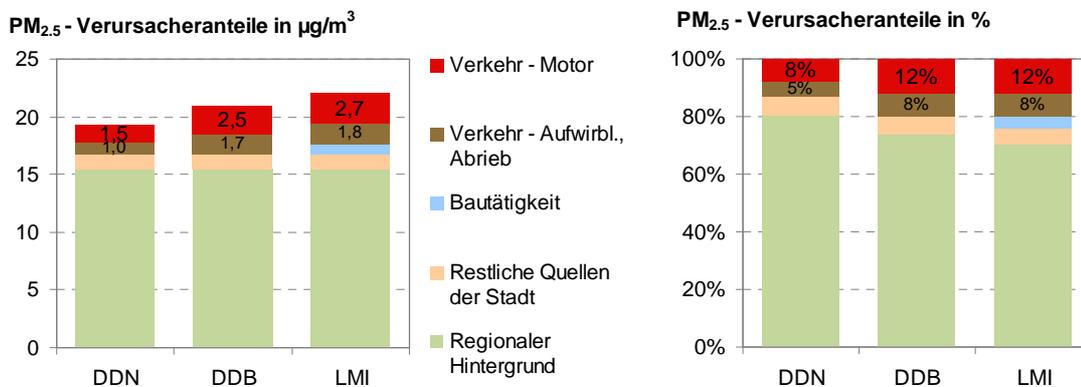


Abbildung 17: Anteile der Hauptverursacher für PM_{2.5} im Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messorten

Die Ergebnisse der Verursacherbilanz für $\text{Ru}\beta_{\text{EC}}$, der als EC im PM_{10} gemessen wird, werden in Abbildung 18 gezeigt. Für $\text{Ru}\beta_{\text{EC}}$ wurde eine regionale Hintergrundbelastung von 40 bis 50 % registriert. Die Motoremissionen der an der Messstelle vorbei fahrenden Fahrzeuge erreichten einen Anteil von 28 % in DDN bis 48 % in DDB und veranschaulichen, dass diese Messgröße die Motoremissionen deutlich empfindlicher als PM_{10} oder $\text{PM}_{2,5}$ darstellt. Die ermittelten $\text{Ru}\beta$ -Konzentrationen (links) liegen im Bereich von 0,9 bis 2,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sind damit etwas geringer als die für PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$ ermittelten Werte für die Motoremissionen.

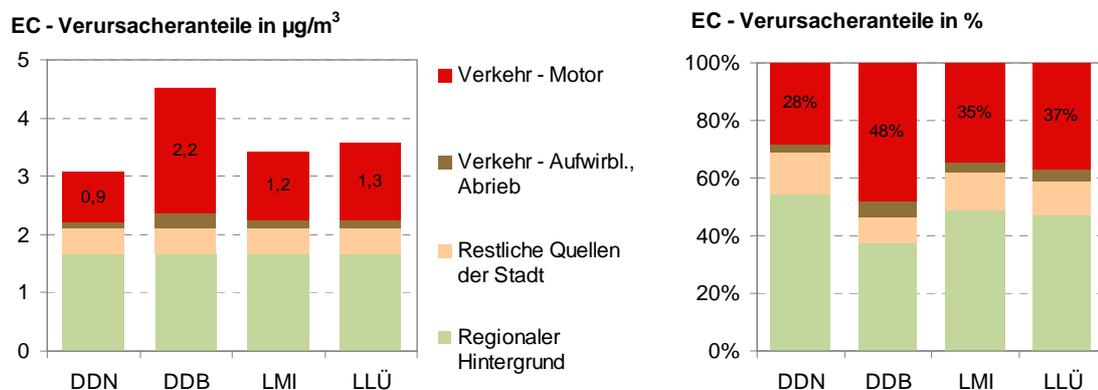


Abbildung 18: Anteile der Hauptverursacher für $\text{Ru}\beta_{\text{EC}}$ im Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messorten

Die Ergebnisse für $\text{Ru}\beta_{\text{BC}}$, der als BC im PM_1 in DDN und als BC im PM_{10} an den restlichen Messstationen gemessen wird, werden in Abbildung 19 gezeigt. Der Anteil des regionalen Hintergrundes liegt bei 30 bis 40 %. Die Motoremissionen der an der Messstelle vorbei fahrenden Fahrzeuge erreichen einen Anteil von 34 % in LEI bis 53 % in LMI. Die absoluten $\text{Ru}\beta_{\text{BC}}$ -Werte liegen im Bereich von 0,8 bis 1,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

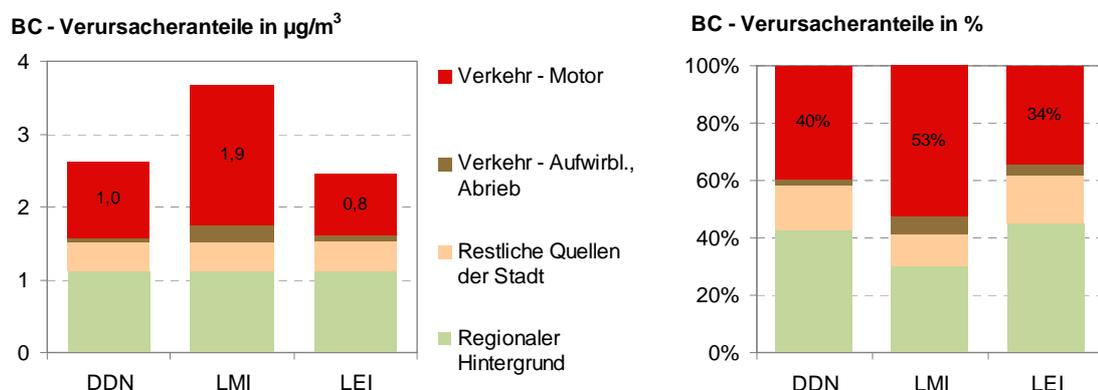


Abbildung 19: Anteile der Hauptverursacher für $\text{Ru}\beta_{\text{BC}}$ im Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messorten

Die Ergebnisse für die Bilanz der Messungen der **Partikelanzahlkonzentration $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$** der Partikel im Partikelgrößenbereich von 30 nm bis 200 nm zeigt Abbildung 20. Die regionale Hintergrundbelastung lag bei 35 bis 50 %. Die Verursacherguppe Aufwirblung und Abrieb spielt für derartig kleine Partikel (kleiner 200 nm) keine Rolle mehr, da mechanischer Abrieb deutlich größere Partikel verursacht.

Mit der Partikelgrößenklasse von 30 nm bis 200 nm werden Partikel gemessen, die vorrangig aus Verbrennungsprozessen stammen. Das Partikelmaximum von Dieselfahrzeugen liegt etwa im Partikelgrößenbereich von 70 bis 90 nm und damit mitten in dieser Größenklasse. Die Bestimmung der Partikelanzahl dieser Partikelgrößenklasse erscheint als die beste Messmethode, um die frischen motorbedingten Emissionen der vorbei fahrenden Fahrzeuge abzubilden.

Die motorbedingten Emissionen der an der Messstelle vorbei fahrenden Fahrzeuge wurden mit einem Anteil von 34 % in DDN bis 54 % in LMI ermittelt. Dem lokalen Verkehr wurden an DDN 2.250 Partikeln pro cm³ und in der Straßenschlucht LEI etwa 3.200 zugeordnet. An LMI waren es mit etwa 5.000 Partikeln pro cm³ mehr als doppelt so viele Partikel als an DDN.

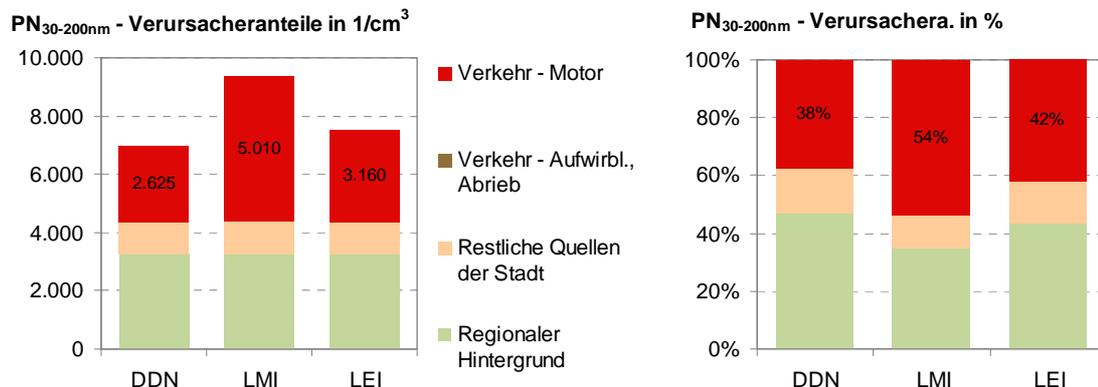


Abbildung 20: Anteile der Hauptverursacher für die Partikelanzahl PN im Größenbereich von 30 bis 200 nm im Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messorten

Aus der Partikelanzahlverteilung lässt sich auch die Partikelmassenverteilung berechnen (vergl. Kap. 3.3.7), die dann wieder für eine Partikelfraktion angegeben werden kann. Dies erfolgte für den Partikelgrößenbereich von 30 bis 200 nm. Die Ergebnisse der Verursacherbilanz für die **Partikelmasse PM_{30-200nm}** werden in Abbildung 21 gezeigt. Wie bereits bei PN_{30-200nm} besprochen, gibt es praktisch keinen Anteil durch Aufwirblungen und Abriebe. Der Anteil der restlichen städtischen Quellen wurde durch die Bilanz mit kleiner als 10 % geschätzt. Die Bilanz ist hier wahrscheinlich zu ungenau. Es liegt hier ebenfalls wie bereits für PM₁₀ und PM_{2,5} festgestellt, am auffälligen Verhältnis der Werte für LWE und MEL. Der Immissionsanteil durch die Motoremissionen der Fahrzeuge ist mit 1,6 µg/m³ an DDN am kleinsten und mit 3,1 µg/m³ an LMI am größten. Der relative Anteil reicht von 33 bis 49 %.

Die Verursacherbilanz für **NO_x** zeigt Abbildung 22. Die gasförmigen Motoremissionen NO_x waren an 63 bis 81 % der gemessenen Immissionsbelastung an den verkehrsnahen Messstellen verantwortlich.

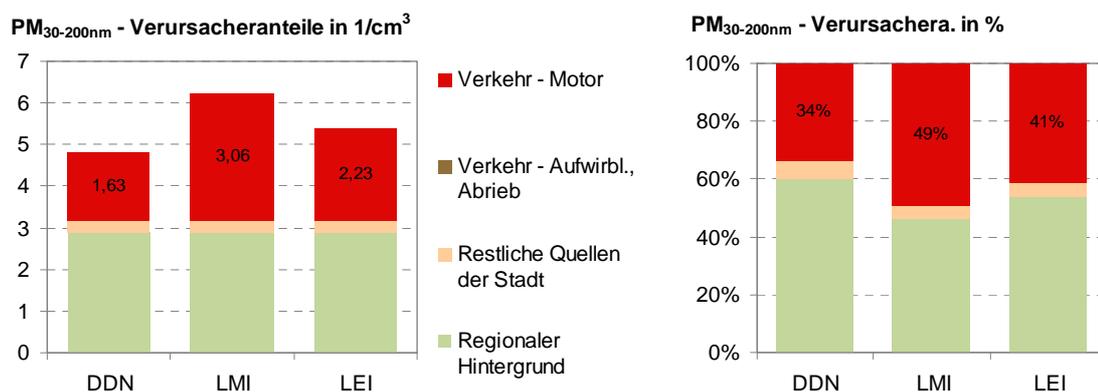


Abbildung 21: Anteile der Hauptverursacher für die aus der Partikelanzahl berechnete Partikelmasse PM_{30-200 nm} im Jahr 2010

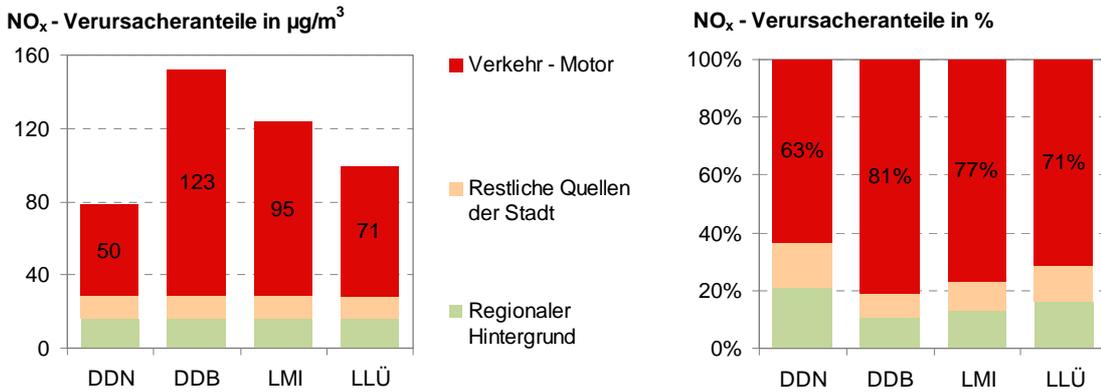


Abbildung 22: Anteile der Hauptverursacher für NO_x im Jahr 2010

4.3.3 Vergleich der ermittelten Immissionsanteile durch motorbedingte Emissionen des lokalen Verkehrs

Die Umweltzone zielt auf eine Reduzierung der motorbedingten Emissionen der Fahrzeuge ab. Deshalb werden die Ergebnisse von Kapitel 1.1.1 für die einzelnen Messverfahren hinsichtlich motorbedingter Emissionen hier zusammengefasst (Abbildung 23).

Die Ergebnisse pro Messstation schwanken erwartungsgemäß aufgrund der verschiedenen Ermittlungsverfahren und deren Unsicherheiten. Dennoch wird die Größenordnung des Immissionsanteils für jeden Messort gut erkennbar.

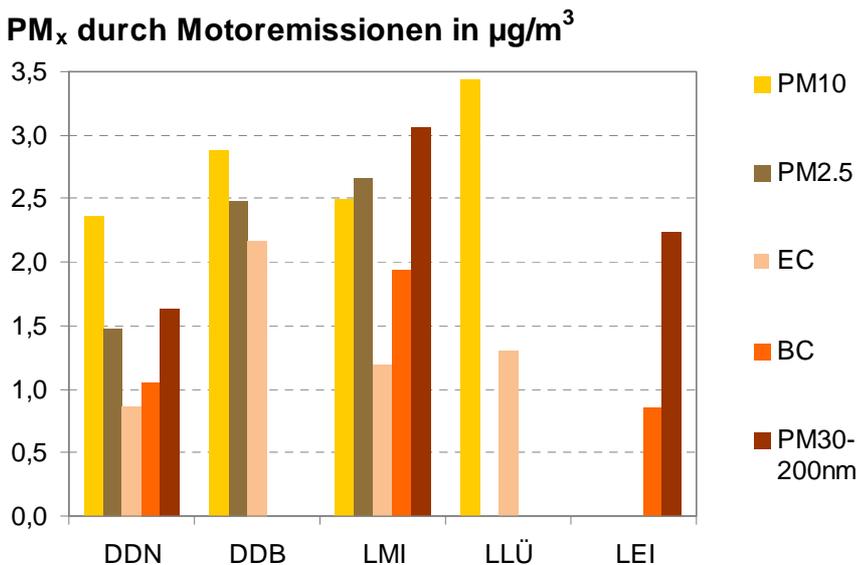


Abbildung 23: Massebezogene Immissionsanteile durch motorbedingte Emissionen des lokalen Verkehrs im Jahr 2010

Zur Angabe eines Immissionsanteils pro Messort wäre es ein einfacher Weg, die Ergebnisse der verschiedenen Verfahren zu mitteln. Dem steht entgegen, dass die einzelnen Verfahren eine unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber dem ermittelten Immissionsanteil durch motorbedingte Emissionen besitzen. In Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. wird gezeigt, dass der relative Immissionsanteil der Motoremission gemittelt über alle Messorte etwa 9 % für PM₁₀ und 11 % für PM_{2,5} beträgt. Deutlich größer ist die Empfindlichkeit der anderen Messverfahren. Die Immissionsanteil wird mit 37 bis 42 % des Gesamtwertes ermittelt. Daraus wird ersichtlich, dass die Messverfahren für Ruß_{EC}, Ruß_{BC} und PN_{30-200nm} etwa 4-mal so empfindlich für den motorbedingten Immissionsanteil im Vergleich zum Messverfahren PM₁₀ sind.

Die Ergebnisse der einzelnen Messverfahren wurden unter Berücksichtigung der jeweiligen Empfindlichkeit und Unsicherheit gewichtet⁷ und daraus der Mittelwert für jeden Messort abgeschätzt (Tabelle 16). Der so aus verschiedenen Messverfahren ermittelte motorbedingte Immissionsanteil ist an DDB mit 2,4 µg/m³ am größten und entspricht dort 8 % des PM₁₀-Jahresmittelwertes von 2010. An DDN ist der motorbedingte Immissionsanteil mit 1,4 µg/m³ bzw. 5 % vom PM₁₀-Jahresmittelwert am kleinsten.

Der ermittelte Immissionsanteil durch motorbedingte Emissionen der Kraftfahrzeuge an den verkehrsnahen Messstellen stellt gleichzeitig das Reduzierungspotenzial für PM₁₀ durch eine Umweltzone dar⁸, wenn von gleich beleibenden Kfz-Zahlen und ähnlichen meteorologischen Rahmenbedingungen ausgegangen wird.

Relativer Immissionsanteil "Motor"

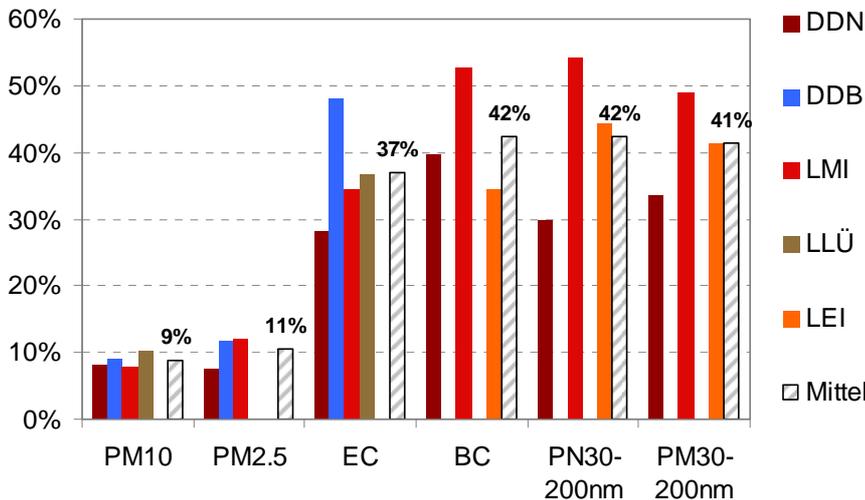


Abbildung 24: Mit unterschiedlichen Messverfahren ermittelte relative Immissionsanteile der motorbedingten Emissionen an den verkehrsnahen Messstellen 2010

Tabelle 16: Mittlere Immissionsanteil durch motorbedingte Emissionen der Kraftfahrzeuge und deren Standardabweichung für verschiedene Messverfahren an den verkehrsnahen Messstellen 2010

Messstation	Immissionsanteil „Motor“	Prozentualer Anteil vom PM ₁₀ -Jahresmittelwert
Dresden-Nord (DDN)	1,4 µg/m ³ +/-0,5 µg/m ³	4,6 % +/-1,7 %
Dresden-Bergstraße (DDB)	2,4 µg/m ³ +/-0,3 µg/m ³	7,7 % +/-1,1 %
Leipzig-Mitte (LMI)	2,2 µg/m ³ +/-0,8 µg/m ³	6,9 % +/-2,4 %
Leipzig-Lützner Str. (LLÜ)	2,0 µg/m ³ +/-1,2 µg/m ³	6,1 % +/-3,7 %
Leipzig-Eisenbahnstr. (LEI)	1,5 µg/m ³ +/-0,8 µg/m ³	k. M.

k. M. = keine Messung

⁷ EC, BC und Partikelanzahl ist jeweils etwa 4-mal so empfindlich hinsichtlich der Motoremissionen wie PM₁₀ und PM_{2,5}, aber mit einer etwa doppelt so großen Unsicherheit behaftet (vergl. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.). Deshalb wurde eine Wichtung mit Faktor 2 für die Ergebnisse von EC, BC und Partikelanzahl gegenüber PM₁₀ und PM_{2,5} für die Berechnung des Endergebnisses in Tabelle 16 eingeführt.

⁸ Dabei wird unterstellt, dass der Netzeintrag des Verkehrs der Stadt gegenüber dem lokalen Anteil an der Messstelle klein ist und ein kleiner Anteil an motorbedingten Emissionen auch durch eine Umweltzone nicht reduzierbar ist (z. B. Partikelemissionen der Benziner). Der Netzeintrag würde das Reduzierungspotenzial vergrößern und der nicht reduzierbare Anteil das Reduzierungspotenzial verkleinern. Die resultierende Summe aus beiden gegenläufigen Anteilen wird als vernachlässigbar klein angenommen.

4.3.4 Motorbedingte Immissionsanteile und Anzahl der PM₁₀-Grenzwertüberschreitungstage

Aus den sächsischen PM₁₀-Messreihen der vergangenen 12 Jahre wurde für jede Messstation und jedes Jahr der PM₁₀-Jahresmittelwert und die Anzahl der PM₁₀-Grenzwertüberschreitungstage von 50 µg/m³ pro Kalenderjahr zusammengestellt (Abbildung 25). Mit diesen Daten kann ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Überschreitungstage und dem Jahresmittelwert abgeleitet werden. Im Bereich eines Jahresmittelwertes von 30 µg/m³ bis 35 µg/m³ folgt daraus, dass einer PM₁₀-Konzentrationsänderung des Jahresmittelwertes um 1 µg/m³ eine Änderung von etwa 4 Überschreitungstagen (rechnerisch 3,9 Tage) entspricht.

Dieser Zusammenhang kann genutzt werden, um den in Kapitel 4.3.3 ermittelte PM₁₀-Immissionsanteil durch die motorbedingten Emissionen des lokalen Verkehrs in eine hypothetische Anzahl von PM₁₀-Überschreitungstagen umzurechnen. Der Immissionsanteil durch motorbedingte Emissionen (1,4 bis 2,4 µg/m³) hätte demnach etwa 5 bis 10 Überschreitungstage je nach Messstation verursacht (Tabelle 17).

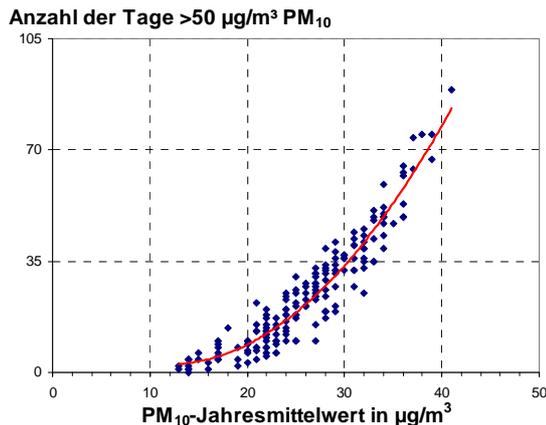


Abbildung 25: Jahresmittelwerte und Überschreitungstage für PM₁₀ in Sachsen im Zeitraum 1999 bis 2010

Tabelle 17: Hypothetische Anzahl der PM₁₀-Grenzwertüberschreitungstage*, die durch motorbedingte Emissionen des lokalen Verkehrs im Jahr 2010 verursacht wurden

Messtationsname	PM ₁₀ -Überschreitungstage durch motorbedingte Emissionen
Dresden-Nord (DDN)	5
Dresden-Bergstraße (DDB)	10
Leipzig-Mitte (LMI)	9
Leipzig-Lützner Str. (LLÜ)	8
Leipzig-Eisenbahnstr. (LEI)	6

* Dieses Ergebnis korrespondiert nur teilweise mit dem aus der empirischen Analyse der PM₁₀-Tagesgänge im Jahr 2010 ermittelten PM₁₀-Überschreitungstagen, die überwiegend durch lokale Emissionen verursacht wurden [Wolf, 2011].

4.3.5 Schätzung der Wirkung einer Umweltzone an den verkehrsbezogenen Messstationen im Jahr 2010

Im Kapitel 4.3.4 wurde ermittelt, dass durch eine Umweltzone mit Stufe grüner Plakette 2010 etwa 5 bis 10 PM₁₀-Grenzwertüberschreitungstage im Jahr 2010 hätten vermieden werden können. Diese Angaben gelten bei vollständiger Befolgung der Umweltzone und unveränderter Mobilität.

Aus diesen Erkenntnissen heraus kann ein Gedankenexperiment erfolgen. Was wäre, wenn bereits im Jahr 2010 eine Umweltzone mit Stufe grüne Plakette in Leipzig und Dresden bestanden hätte und sie vollständig und ohne Ausnahmegenehmigungen befolgt worden wäre? Von den vier verkehrsnahen Messstationen Dresden-Bergstraße, Dresden-Nord, Leipzig-Mitte und Leipzig-Lützner Straße mit PM₁₀-Grenzwertüberschreitungen wären durch die Maßnahme „Umweltzone“ an drei Messstationen eine PM₁₀-Grenzwertüberschreitung vermieden worden. Für die Messstation Leipzig-Lützner Straße wäre die Maßnahme „Umweltzone“ nicht ausreichend gewesen (Tabelle 18). Neben der Umweltzone wäre die Umsetzung der weiteren Maßnahmen aus dem Luftreinhalteplan erforderlich, um auch dort eine PM₁₀-Grenzwertüberschreitung zu verhindern.

An der Messstation Dresden-Bergstraße hätte eine Umweltzone die größte Wirkung gehabt.

Tabelle 18: Hypothetische PM₁₀-Grenzwertüberschreitungstage im Jahr 2010, wenn in diesem Jahr bereits eine Umweltzone in Leipzig und Dresden bestanden hätte (grau unterlegt: Grenzwertüberschreitung)

Messstationsname	Reale PM ₁₀ -Überschreitungstage 2010 (ohne Umweltzone)	Hypothetische PM ₁₀ -Überschreitungstage 2010, wenn es bereits eine Umweltzone „grün“ gegeben hätte
Dresden-Nord (DDN)	37	32
Dresden-Bergstraße (DDB)	40	30
Leipzig-Mitte (LMI)	41	32
Leipzig-Lützner Str. (LLÜ)	49	41

5 Vertiefende Auswertungen der Daten von 2010

5.1 Zeitlicher Verlauf der Wochenmittelwerte

Verkehrsbezogene Immissionen besitzen wie der Kfz-Verkehr eine hohe Variabilität mit einem deutlichen Unterschied zwischen den Werktagen (Montag bis Freitag) und dem Wochenende. Monatsmittelwerte haben den Nachteil, dass sowohl vier als auch fünf Wochenenden enthalten sein können und sie ggf. dadurch unscharfe Effekte liefern. Deshalb wurde der Auswertung von Wochenmittelwerten den Vorrang gegeben. Es wurden nur dann Wochenmittelwerte berechnet, wenn für alle 7 Wochentage gültige Messwerte vorlagen.

Der zeitliche Verlauf der Wochenmittelwerte für die Verkehrszahlen an den vier verkehrsnahen Messstellen in Dresden und Leipzig zeigt Abbildung 26. Die über den Kalenderwochen (KW) aufgetragen Anzahl von PKW und SV, war über das Jahr insgesamt recht konstant. Reduzierungen der PKW-Anzahl traten in den Schulferien und Wochen mit Brückentagen auf, wie z. B. KW 6 und 7 (Winterferien), KW 14 (Ostern), KW 19 (Himmelfahrt), KW 26-30 (Sommerferien), KW 40 und 41 (Herbstferien), KW 46 (Buß- und Bettag) und KW 51 (Weihnachten). Auch bei den SV-Zahlen gibt es einen ähnlichen Verlauf mit Reduzierungen, wie z. B. in KW 19 (Himmelfahrt). In den Sommermonaten waren etwas mehr PKW und SV unterwegs als in den Wintermonaten. In LMI erscheint eine leicht steigende Tendenz für die Anzahl der PKW und SV im Jahr 2010.

Abbildung 27 zeigt den zeitlichen Verlauf der Wochenmittelwerte für die Luftschadstoffe **PM₁₀** und **PM_{2,5}**. Es sind die Ergebnisse der Messungen an den städtischen Straßen, im städtischen und regionalen Hintergrund. Für PM₁₀ und auch PM_{2,5} wird im Wesentlichen ein Gleichlauf der Wochenmittelwerte festgestellt. Die regionalen und städtischen Hintergrundwerte (gelb-grün) sind meist kleiner als an den verkehrsnahen Messorten. Der Gleichlauf an den verschiedenen Messorten wird durch die meteorologischen Rahmenbedingungen geprägt, wie z. B. in den Kalenderwochen 3 bis 6 für PM_{2,5} eindrucksvoll anhand der Werte in Tabelle 19 gezeigt wird. Die Werte unterscheiden sich nur um wenige µg/m³, egal ob an der städtischen Straße, im städtischen Hintergrund oder regionalen Hintergrund. Es trat eine gleichmäßige flächenhafte Belastung auf. Die relative Standardabweichung als Maß für die Streuung der Wochenmittelwerte der sieben Messstationen ist in diesem Zeitraum kleiner als 10 %. Lokale Schadstoffquellen spielen in dieser Situation, die von Feintrag belasteter Luftmassen geprägten ist, eine untergeordnete Rolle. Diese Episode wird in Kapitel 5.2 näher untersucht.

Tabelle 19: Wochenmittelwerte für Feinstaub PM_{2,5} Anfang 2010 für Messstationen am Straßenrand und im städtischen Hintergrund in Dresden und Leipzig sowie im regionalen Hintergrund

	Städtische Straße			Städtischer Hintergrund		Regionaler Hintergrund		Mittelwert	Standardabweichung	Relative Standardabweichung
	DDN	DDB	LMI	DDW	LWE	MEL	COL			
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	
KW 3	40	41	47	40	42	45	43	43	2,6	6%
KW 4	47	48	56	46	44	49	47	48	3,7	8%
KW 5	24	25	28	23	25	24	23	25	1,8	7%
KW 6	45	46	43	43	38	47	40	43	3,2	7%

Weiterhin ist zu erkennen, dass im Sommer niedrigere Konzentrationen als im Winter auftreten. Aus dem recht konstanten Verlauf der Verkehrsdaten (Abbildung 26) ist dies nicht zu erklären. Die erhöhten Werte bei tiefen Temperaturen resultieren u. a. aus den Emissionen aus Heizungsanlagen und den zumeist schlechteren Ausbreitungsbedingungen für Luftschadstoffe durch mehr Inversionen und windschwache Hochdruckwetterlagen.

An LMI sind PM₁₀ und auch PM_{2,5} mindestens in den Kalenderwochen 29 bis 32 auffällig erhöht gegenüber den anderen Messstationen. LMI befindet sich in unmittelbarer Nähe der Großbaustelle Höfe am Brühl, die diese auffällige zusätzliche Belastung durch lokale Bautätigkeit verursachte. Wie die Zusatzbelastung durch Bautätigkeit bestimmt wurde, ist in Anlage 4 aufgeführt.

Abbildung 28 zeigt den zeitlichen Verlauf der Wochenmittelwerte für **Ruß_{BC}** auf der linken Seite. Das geringste Konzentrationsniveau wird in MEL (grüne Linie) festgestellt. Am Anfang des Jahres 2010 wird wie auch bei PM₁₀ und PM_{2,5} ein Gleichlauf mit den städtischen Messorten registriert. Aus dem Gleichlauf heben sich die Wochenmittelwerte der verkehrsnahen Messstationen

DDN und LEI etwa nach der KW 7 deutlich ab und stagnieren danach mehr oder weniger auf einem Niveau von etwa $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, während im städtischen und regionalen Hintergrund die Werte auf meist unter $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sinken. Ab KW 27/29 beginnen die Messreihen an LMI/LWE und erweitern die Datenbasis. An LMI wird das höchste Konzentrationsniveau mit ungefähr $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt. Ab etwa KW 25 bis KW 51 wird wieder ein Gleichlauf der Konzentrationen mit wenigen Störungen sichtbar. Die verkehrsnahen Messstationen besitzen für $\text{Ru}\beta_{\text{BC}}$ einen weniger deutlichen Jahresgang als für PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$.

Auf der rechten Seite in Abbildung 28 wird der zeitliche Verlauf der Wochenmittelwerte für die $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ dargestellt. Für die Partikelanzahl ist kein deutlicher Jahresgang, wie für PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ und $\text{Ru}\beta_{\text{BC}}$ erkennbar. Zeiträume mit einem gewissen Gleichlauf der Konzentrationen der verschiedenen Messstationen werden sichtbar, wie z. B. in KW 14 bis 25. Ein ähnlicher Konzentrationsverlauf aber auf jeweils unterschiedlichem Konzentrationsniveau ist zu erkennen. Die Wochenmittelwerte der Partikelanzahlklasse $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ der drei verkehrsnahen Messstellen LMI, LES und DDN stellen sich mit den üblichen meteorologisch bedingten Schwankungen für Immissionen recht konstant über das Jahr 2010 dar, so wie es auch die PKW- und SV-Zahlen aus Abbildung 26 zeigen.

Der Vergleich von Abbildungen Abbildung 26 bis Abbildung 28 stützt die Vermutung, dass $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ ein spezifischerer Indikator für die lokalen motorbedingten Emissionen des Verkehrs ist als PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ und $\text{Ru}\beta$. Im Kapitel 5.8 (Abbildung 50 und Abbildung 47:) wird gezeigt, dass Partikel im Größenbereich $0,25$ bis $1,0 \mu\text{m}$ als stärkste Massenfraktion im PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ und $\text{Ru}\beta$ enthalten sind. Dieser Partikelgrößenbereich ist auch als Feinetragefraktion bekannt und verursacht den typischen Jahresgang mit hohen Konzentrationen im Winter, die z. T. auf weit entfernte Quellen zurückgehen. $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ hingegen misst Partikelgrößen kleiner 200 nm ($0,2 \mu\text{m}$). Deshalb bewertet $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ Feinetrageeffekte deutlich weniger und dafür lokale Effekte ultrafeiner Partikel deutlich mehr als PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ und $\text{Ru}\beta$.

Der zeitliche Verlauf der **Wochenmittelwerte für NO_2** wird in Abbildung 29 auf der linken Seite und für NO_x auf der rechten Seite gezeigt. Das Konzentrationsniveau an den verkehrsnahen Messstellen ist deutlich höher als an den städtischen und regionalen Hintergrund-Messstellen. Die städtischen und regionalen Hintergrund-Messstellen besitzen einen recht ausgeglichenen Verlauf der Wochenmittelwerte gegenüber den erheblichen Schwankungen an den verkehrsnahen Messstellen.

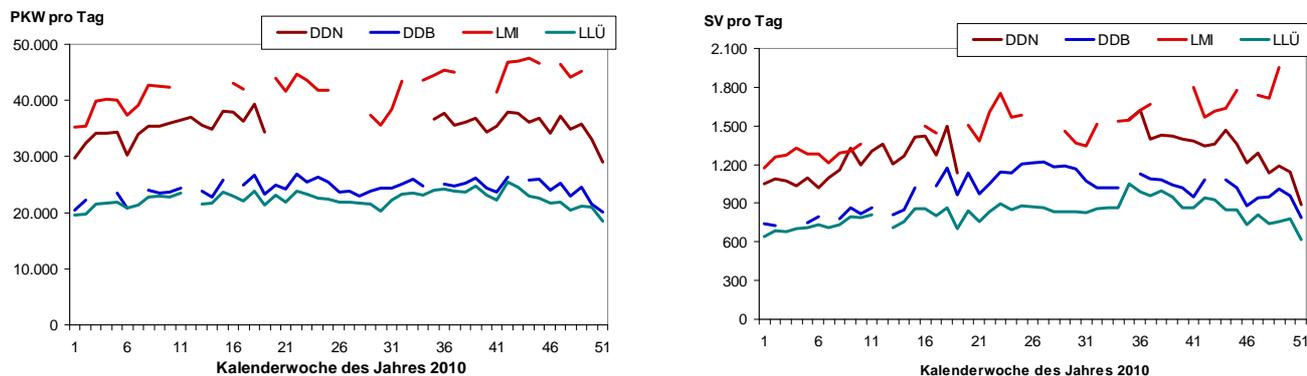


Abbildung 26: Zeitlicher Verlauf der Wochenmittelwerte für die tägliche Anzahl an PKW (links) und SV (rechts) im Jahr 2010

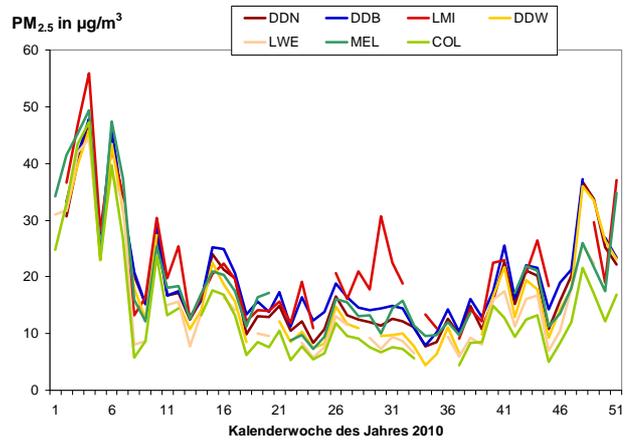
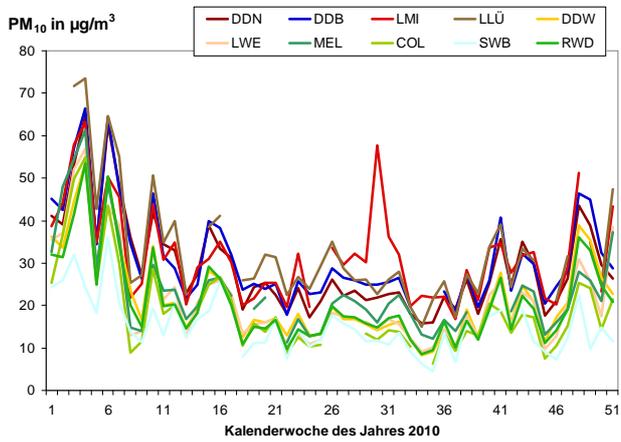


Abbildung 27: Zeitlicher Verlauf der Wochenmittelwerte für PM₁₀ (links) und PM_{2.5} (rechts) im Jahr 2010

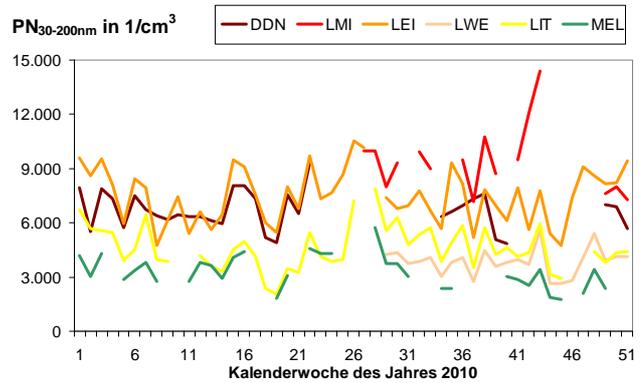
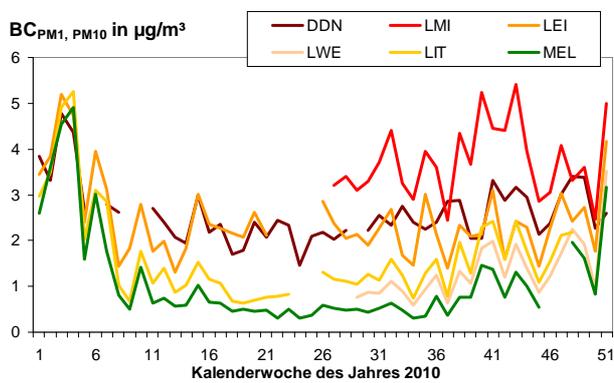


Abbildung 28: Zeitlicher Verlauf der Wochenmittelwerte für Ruß_{BC} (links) und PN_{30-200 nm} (rechts) im Jahr 2010

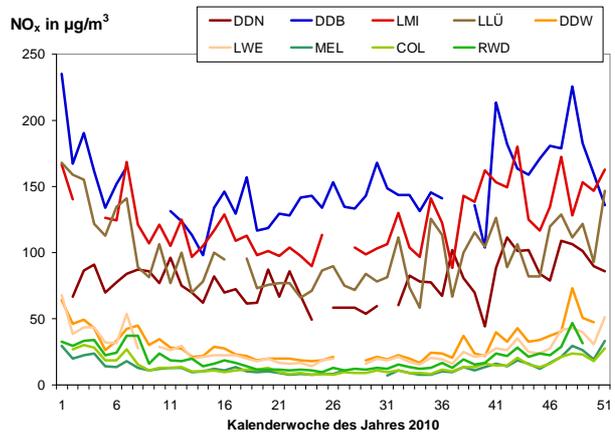
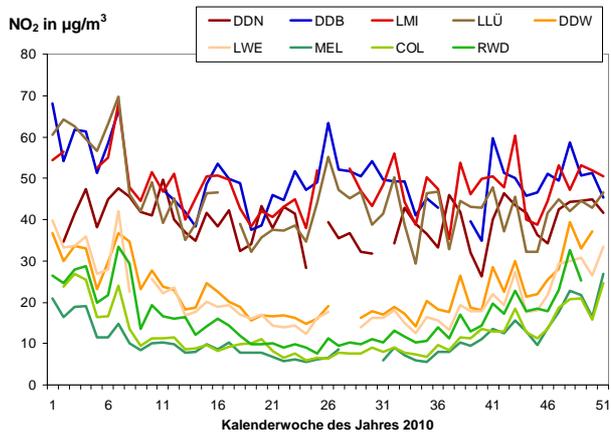


Abbildung 29: Zeitlicher Verlauf der Wochenmittelwerte für NO₂ (links) und NO_x (rechts) im Jahr 2010

5.2 Episode hoher Partikelkonzentration Anfang 2010

Im Januar und Februar 2010 wurden in Mitteleuropa während anhaltender Inversionswetterlagen extrem hohe Feinstaubkonzentrationen verzeichnet. In Sachsen stiegen die Tagesmittelwertkonzentrationen auf Spitzenwerte von $183 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} , $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2.5}$ und $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{Ru}\beta_{\text{BC}}$.

Abbildung 30 veranschaulicht den Zeitverlauf von zwei Episoden in Sachsen anhand der Tagesmittelwerte für $\text{PM}_{2.5}$. Eine erste meteorologische Analyse belegte, dass die Konzentrationsspitzenwerte stets an Kaltlufteinbrüche aus östlichen Richtungen gekoppelt waren [Birmili, 2012]. Die übliche Abstufung der $\text{PM}_{2.5}$ -Konzentrationen mit niedrigen Werten im regionalen Hintergrund, erhöhten Werten im städtischen Hintergrund und den höchsten Werten an der städtischen Straße wird dabei zeitweise verlassen oder sogar umgekehrt. Am 15.1. beispielsweise stieg in MEL die Konzentration deutlich durch eine aus östlicher Richtung kommende Luftmasse. Diese erreichte jedoch in diesem Fall nicht das 50 km entfernte Leipzig. In bestimmten Fällen führt also der Antransport partikelbelasteter Luftmassen von außerhalb Sachsens zum Paradoxon, dass in einem ländlichen Bereich weitaus höhere PM_x -Werte registriert werden als in der nahe gelegenen Stadt.

Nach dem 20.1. begann ein kontinuierlicher Zustrom von Kaltluft aus östlichen Richtungen, in dessen Folge am 26.1. die oben genannten Maximalwerte erreicht wurden. In Abbildung 31 zeigen die UBA-Karten der flächenhaften PM_{10} -Belastung die große Ausdehnung dieser Feinstaubepisode zwischen Sachsen und Nordrhein-Westfalen, die sich längs der östlichen Windrichtung ausbreitete. Eine Profilmessung am Aerosol über Dresden mit einem Ceilometer zeigte die scharfe Begrenzung der bodennahen Feinstaubschicht auf eine Dicke von 400 m, welche durch eine ungewöhnlich starke Temperaturinversion von ca. 15 K gedeckelt war [Birmili, 2012]. Ein interessanter Aspekt ist, dass bei der Ausbreitung der Feinstaubschicht Dresden zunächst ausgespart und erst am 26.1. von hohen Werten betroffen ist (Abbildung 30, links). Ursache hierfür war der zunächst in Dresden vorherrschende Böhmische Wind, der in diesem Fall einmal für „relativ“ niedrige Messwerte sorgte. Erst nach einer Winddrehung nach Norden gelangte die von Osten antransportierte Feinstaubschicht auch nach Dresden. In der frühen Phase zwischen 20. und 24.1. sind die hohen PM -Werte nur durch einen Transport mit den aus östlichen Richtungen ankommenden Luftmassen erklärbar. In der fortgeschrittenen Phase um den 26.1. jedoch ist eine Trennung zwischen Ferntransport und dem lokal in Sachsen emittiertem PM_x aufgrund der geringen Windgeschwindigkeiten und der damit drastisch reduzierten Ausbreitungsmöglichkeit nicht mehr möglich [Birmili, 2012].

Das Umweltbundesamt stellte fest, dass „vor allem in trockenen Wintern immer wieder hohe PM_{10} -Konzentrationen in ganz Deutschland auftreten. Zum Belastungsschwerpunkt am 25. und 26.1.2010 wurden an etwa 83 % der in Deutschland vorhandenen PM_{10} -Messstellen Tagesmittelwerte über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Die höchsten festgestellten Belastungen traten mit Werten über $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf. Wie stark die PM_{10} -Belastung während solcher Witterungsverhältnisse ansteigen kann, hängt vor allem von den meteorologischen Bedingungen ab. Entscheidend ist dabei, wie schnell sich der Feinstaub in der Luft ausbreiten oder auch verdünnen kann“. Winterliche Hochdruckwetterlagen mit geringen Windgeschwindigkeiten, wie zum Beispiel zwischen dem 20. und 27.1.2010 beobachtet, führen dazu, dass die Schadstoffe nicht abtransportiert werden können. Sie sammeln sich in den durch Temperaturinversionen begrenzten untersten Luftschichten (bis etwa 1 000 m) wie unter einer Glocke. Der Wechsel zu einer Wettersituation mit stärkerem Wind führt zu einer raschen Abnahme der PM_{10} -Belastung [UBA, 2010].

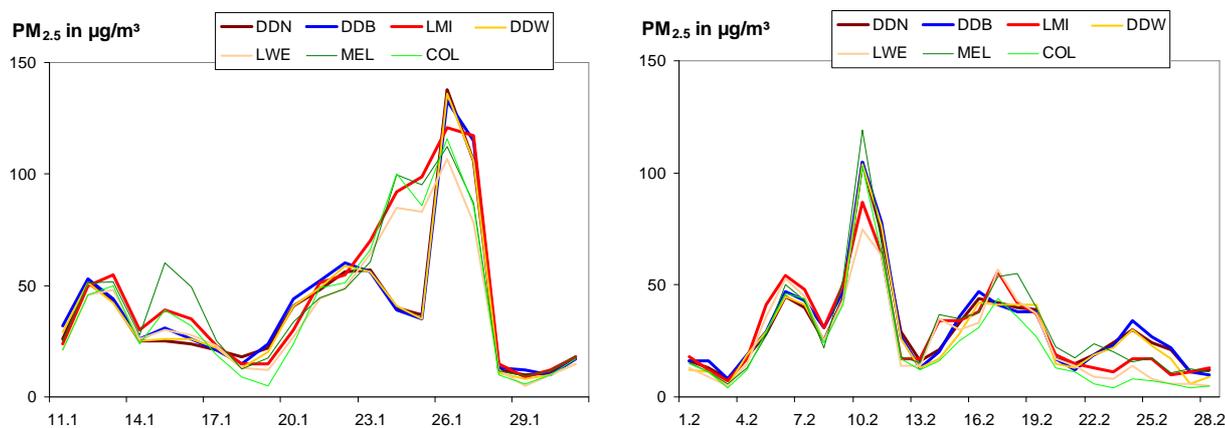


Abbildung 30: Zeitlicher Verlauf der Tagesmittelwerte für $\text{PM}_{2.5}$ Anfang 2010

Tagesmittelwerte der Partikelkonzentration
Episode vom 19.01.2010 bis 30.01.2010

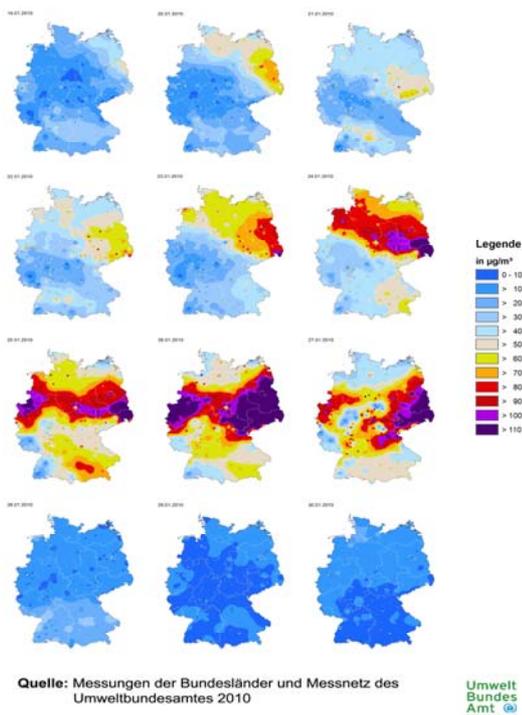


Abbildung 31: Deutschlandkarten des Umweltbundesamtes für Tagesmittelwerte für Feinstaub PM₁₀ im Zeitraum vom 19. bis 30. Januar 2010 [UBA, 2010]

5.3 Mittlerer Wochengang für Tagesmittelwerte

Der mittlere Wochengang ergibt sich aus der statistische Auswertung von langen Datenreihen, um ein allgemeingültiges Muster (Signatur) einer Messgröße über die Tage einer Woche zu liefern. Hier wurden über den Zeitraum des Jahres 2010 die Tagesmittelwerte aller Montage zu einem Mittelwert „Montag“, dann die Werte aller Dienstage zu einem „Dienstag“ usw. zusammengefasst.

Der mittlere Wochengang für die **Kfz-Zahlen** an den vier verkehrsnahen Messstellen wird in Abbildung 32 gezeigt. An den Tagen von Montag bis Freitag steigt die PKW-Anzahl an allen vier Zählstellen nahezu kontinuierlich an und erreicht das Maximum am Freitag. Für den Schwerverkehr (SV) ist diese Tendenz nicht so offensichtlich. Am Freitag wird bereits ein kleiner Abfall des SV registriert. Am Wochenende wird ein deutlicher Abfall der Verkehrsbelegung für SV und PKW mit dem Minimum am Sonntag erreicht.

Der Abfall der Verkehrszahlen am Wochenende ist für den SV stärker als für die PKW. Am Sonntag reduziert sich die PKW-Anzahl auf etwa 60 % und der SV auf 25 % des Niveaus der Wochentage. Der SV-Anteil am Kfz-Verkehr beträgt 4 bis 6 % von Montag bis Freitag und am Sonntag 2 bis 3 %.

Die Signatur des mittleren Wochenganges der Kfz-Zahlen sollte sich im mittleren Wochengang der Immissionen wieder finden, wenn diese vom Verkehr dominiert werden. Der mittlere Wochengang für Immissionen hat den Vorteil, dass meteorologische Schwankungen weitgehend gedämpft werden und das Wetter keinen Wochentag kennt [Löschau, 2006].

In Abbildung 33 ist der mittlere Wochengang für PM₁₀ und PM_{2,5} dargestellt. An den städtischen Straßen-Messstationen (DDN, DDB, LMI, LLÜ) wurde für PM₁₀ und PM_{2,5} das Minimum der Konzentration erwartungsgemäß am Sonntag entsprechend den Kfz-Zählzahlen erreicht. Die Feinstaubkonzentration baut sich normalerweise von Montag bis Freitag auf und erreicht das Maximum am Freitag. Das Maximum wurde aber am Mittwoch registriert. Das Maximum am Mittwoch tritt neben den verkehrsnahen auch an den städtischen und regionalen Hintergrund-Messstationen auf (Ausnahme DDW). Grund dafür waren extrem hohe Partikelmassenkonzentrationen, die durch Ferneintrag vorbelasteter Luft nach Sachsen getragen wurden und z. B. am Mittwoch, dem 10.2.10 mit über 100 µg/m³ PM_{2,5} in Sachsen flächenhaft eintrafen (vergl. auch Kap. 5.2). Durch diese wenigen Einzelereignisse wurde die Signatur des mittleren Wochengangs für Feinstaub an allen Messorten beeinflusst. Weiterhin ist zu

erkennen, dass an den vier regionalen Hintergrundmessstellen (MEL, COL, SWB, RWD) das Minimum nicht am Sonntag, sondern am Montag erreicht wurde.

Der mittlere Wochengang für **Ruß_{BC}** wird in Abbildung 34 auf der linken Seite dargestellt. Als spezieller Inhaltsstoff im Feinstaub besitzt Ruß eine ähnliche Signatur wie Feinstaub. Das Maximum der Konzentration wird am Mittwoch (LIT, MEL) oder Donnerstag (DDN, LMI) registriert. Der mittlere Wochengang für Ruß in Dresden-Nord (DDN), der dort als **PM₁** gemessen wird, ist dem mittleren Wochengang der Kfz-Zählraten in Abbildung 32 für PKW und SV schon recht ähnlich. Da hier nur Partikel kleiner 1 µm bewertet werden ist der lokale Verkehr mit den motorbedingten Emissionen prägender als Einzelereignisse durch Ferntransport mit meist auch größeren Partikeln.

In Abbildung 34 rechte Seite wird der mittlere Wochengang für die **Partikelanzahl PN_{30-200nm}** kleinen Partikeln gezeigt. In Dresden-Nord (DDN) wurde eine Signatur registriert, die den Kfz-Zählraten sehr ähnlich ist. An den anderen städtischen Straßenmessstellen (LMI, LEI) und im städtischen Hintergrund (LWE, LIT) wurde ein fast ähnlicher Wochenverlauf mit Ausnahme am Montag festgestellt. Die Montag-Konzentration ist an allen Leipziger Messstellen höher als am Dienstag und ist entgegengesetzt den Relationen der Massenbestimmung **PM₁₀** oder **PM_{2.5}**.

Die Partikelanzahlkonzentration **PN_{30-200nm}** im regionalen Hintergrund (MEL) zeigt als einzige Messgröße einen sehr ausgeglichenen Verlauf der Tagesmittelwerte der Woche. Im Gegensatz zu **PM₁₀**, **PM_{2.5}** und **Ruß_{BC}** wird offensichtlich die Partikelanzahlkonzentration **PN_{30-200nm}** nicht durch typische Partikel-Ferntransporte nach Sachsen beeinflusst. Weiterhin wird im Gegensatz zu **PM₁₀**, **PM_{2.5}** und **Ruß_{BC}** für die Partikelanzahlkonzentration **PN_{30-200nm}** im regionalen Hintergrund (MEL) auch kein Wochengang entsprechend der Kfz-Motoremissionen der einzelnen Tage registriert, da die Verkehrsemissionen als Quelle hier offensichtlich zu weit entfernt sind und keine zeitliche Zuordnung nach Wochentagen mehr verursachen.

Ergänzend wird der mittlere Wochengang für **NO₂** und **NO_x** in Abbildung 35 gezeigt.

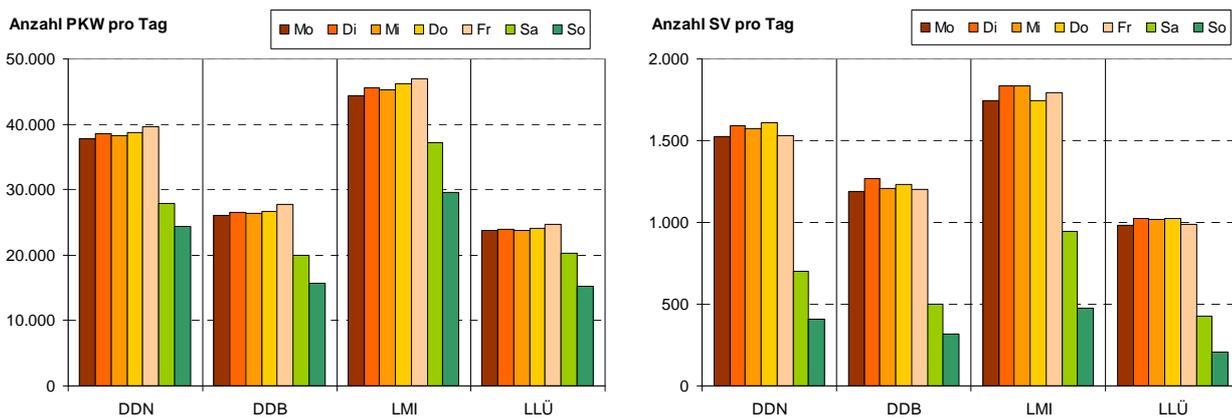


Abbildung 32: Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für die tägliche Anzahl an PKW (links) und Schwerverkehr (rechts) der Kfz-Zählstellen in der Nähe der verkehrsnahen Luftgüte-Messstellen

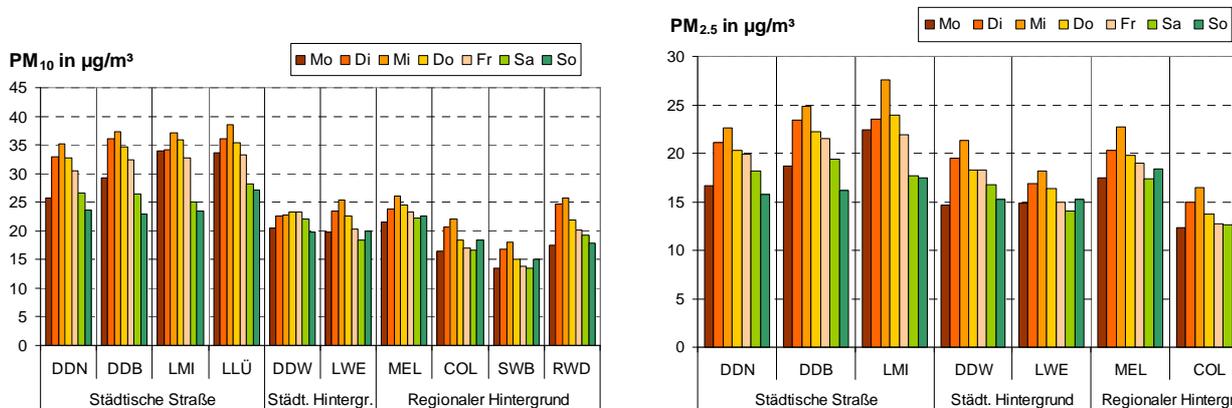


Abbildung 33: Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für **PM₁₀** (links) und **PM_{2.5}** (rechts)

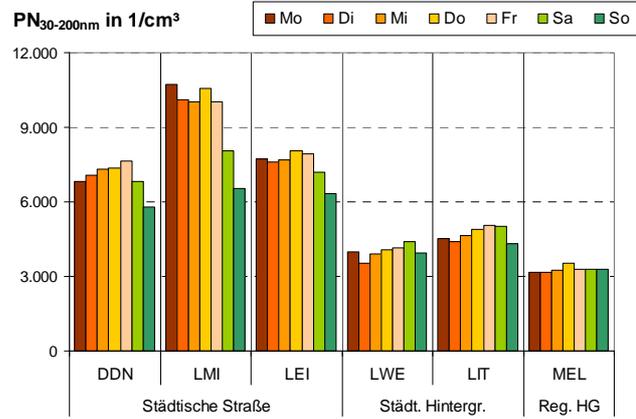
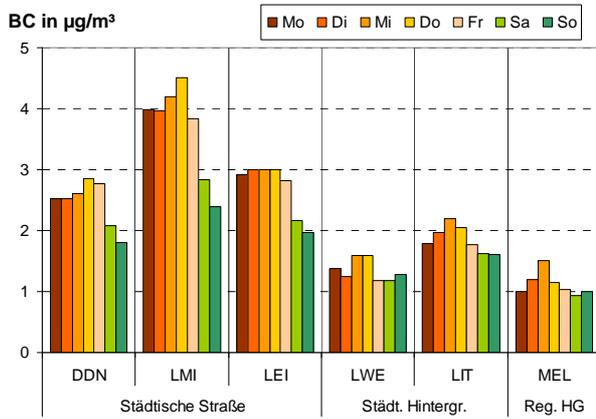


Abbildung 34: Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für Ruß_{BC} (links) und PN_{30-200nm} (rechts)

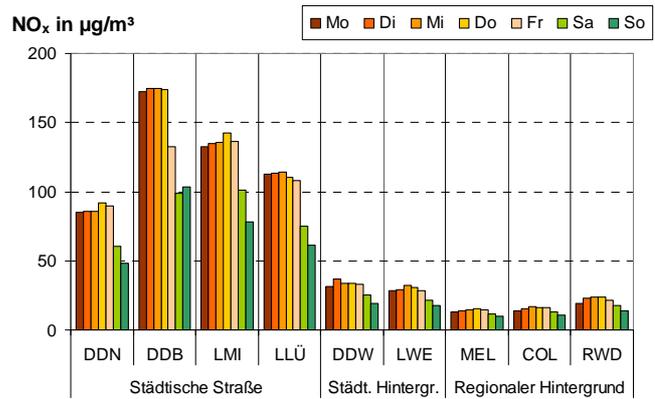
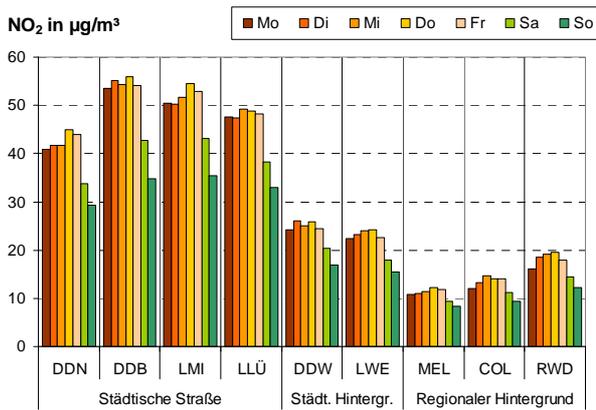


Abbildung 35: Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für NO₂ (links) und NO_x (rechts)

5.4 Mittlerer Wochengang für 1/2-Stunden Werte

Der mittlere Wochengang der Tagesmittelwerte in Kapitel 5.3 kann nun zeitlich weiter aufgelöst werden. Meist liegen ½-h Werte vor, die in Abbildung 36 bis Abbildung 38 dargestellt werden.

In Abbildung 36 linke Seite wird der Verlauf der **PKW-Zahlen** dargestellt. Von Montag bis Freitag erfolgt ein rascher morgendlicher Anstieg der Fahrzeug-Zahlen in der Verkehrsspitzenzeit, der Abfall der Kfz-Zahlen zur Mittagszeit mit einem lokalen Minimum, einen erneuten Anstieg am Nachmittag bis zum Abend und dem Abfall der PKW-Zahlen bis nach Mitternacht mit dem folgendem Minimum in den frühen Morgenstunden. Der Tagesverlauf der **SV-Zahlen** (rechts) von Montag bis Freitag ist von der Form gegenüber den PKW-Zahlen verschieden. Das Maximum wird 10 bis 11 Uhr erreicht ohne das lokale Minimum um die Mittagszeit wie für die PKW-Zahlen. Das Minimum in den sehr frühen Morgenstunden ist gleich. Der Tagesverlauf für PKW-Zahlen ist am Wochenende komplett anders als von Montag bis Freitag. Das lokale Minimum in der Mittagszeit fehlt und am Sonntag wird das morgendliche Minimum einige Stunden später registriert.

Wie in Abbildung 37 gezeigt wird, folgen die **PM₁₀-Konzentrationen** der verkehrsnahen Messstationen (DDN, DDB, LMI, LLÜ) dem Verlauf der Kfz-Zählergebnisse recht gut. Die regionalen PM₁₀-Hintergrundkonzentrationen sind an allen Wochentagen ausgeglichen. In der Abbildung 37 auf der rechten Seite wurden die Messergebnisse einzelner Messstationen zu typischen Messortverhältnissen zusammengeführt. Der mittlere Wochengang der PM₁₀-Konzentration im regionalen Hintergrund wird als grüne Linie sichtbar, darüber der städtische Hintergrund (gelb) und die verkehrsnahen Standorte (rot). Die Konzentrationen der verschiedenen Messstationstypen besitzen tagsüber große Unterschiede. Die Konzentrationsverläufe der verschiedenen Messstationstypen kommen in den frühen Morgenstunden einander recht nahe oder treffen zusammen. Der PM₁₀-Konzentrationsverlauf im regionalen Hintergrund, mit den höchsten Werten am Mittwoch, zeigt noch einmal eindrucksvoll den möglichen Einfluss von Ferntransport.

Der mittlere Wochengang für **Ruß_{BC}** wird in Abbildung 38 auf der linken Seite dargestellt. Der Verlauf der Ruß-Konzentration der verkehrsnahen Messstationen (DDN, LMI) ähnelt der Signatur der Kfz-Zahlen. Die Ruß-Konzentration im regionalen Hintergrund (MEL) ist auch sehr gleichmäßig über die Woche verteilt und trifft in den frühen Morgenstunden im Konzentrationsniveau auf das Minimum der Ruß-Konzentration an den städtischen Straßen. Der Ruß-Konzentrationsverlauf der städtischen Hintergrund-Messstellen liegt über dem Niveau des regionalen Hintergrundes und unter dem Niveau der Straßen-Messstellen. Im städtischen Hintergrund variiert die Ruß-Konzentration im Tagesverlauf deutlich geringer als an den Verkehrsmessstellen. Dies ist in LIT stärker ausgeprägt als bei LWE, die mehr der regionalen Hintergrundkonzentration folgt. LIT besitzt von Montag bis Freitag ein morgendliches und abendliches Maximum entsprechend dem Berufsverkehr. Auch zwei etwa gleiche Minima sind vorhanden. In den frühen Morgenstunden und in der Mittagszeit geht die Ruß-Konzentration auf das regionale Hintergrundniveau zurück. Am Samstagmorgen und Sonntagmorgen fehlt das Maximum. Dafür wird Freitagnacht und Samstagnacht ein Maximum erreicht, dass sich nicht mit den Kfz-Zählergebnissen begründen lässt. Offensichtlich tritt hier eine andere Quelle stärker hervor. Es wird vermutet, dass Freitagabend und Samstagabend verstärkt Kamine (Holzfeuerungen) in Leipzig betrieben werden, so wie dies auch in anderen Großstädten [Kuhlbusch, 2011] neuerdings beobachtet wird. Auch bei der regionalen Hintergrund-Konzentration werden Freitagnacht und Samstagnacht bei genauerer Betrachtung leichte Konzentrationsmaxima sichtbar, die möglicherweise auch im ländlichen Raum auf Holzfeuerungen deuten [Hausmann, 2010].

Der mittlere Wochengang für **PN_{30-200 nm}** wird in Abbildung 38 auf der rechten Seite gezeigt. Die Partikelanzahl im regionalen Hintergrund (MEL) war relativ gleichmäßig über die Woche verteilt. Der für PM₁₀, PM_{2.5} und Ruß_{BC} in MEL typische „Buckel“ vom Dienstag über Mittwoch bis Donnerstag, der mit Ferneintragereignissen verbunden wurde, war für die Partikelanzahl PN_{30-200nm} nicht vorhanden. Der Konzentrationsverlauf der städtischen Hintergrund-Messstellen (LWE, LIT) lag über dem Niveau des regionalen Hintergrundes und unter dem Niveau der Straßen-Messstellen. Wobei LIT stärker verkehrsnah geprägt ist und LWE mehr der regionalen Hintergrundkonzentration folgt. In den frühen Morgenstunden geht die Konzentration der verkehrsnahen und städtischen Hintergrund-Messstationen auf das regionale Hintergrundniveau zurück. Am Samstagmorgen und Sonntagmorgen fehlt das Maximum. Dafür wird Freitagnacht und besonders Samstagnacht ein Maximum erreicht, dass sich nicht mit den Kfz-Zählergebnissen begründen lässt. Der Verlauf ist für die Partikelanzahl noch stärker ausgeprägt als für Ruß_{BC}. Das Maximum Samstagnacht ist in DDN, LEI, LIT und LWE höher als die Maxima aller anderen Tage der Woche. Für die regionale Hintergrundbelastung (MEL) wird Samstagnacht ebenfalls der höchste Wert registriert. Auch hier wird vermutet, dass Samstagabend verstärkt Kamine (Holzfeuerungen) in Leipzig und Sachsen betrieben werden.

Der mittlere Wochengang für **NO₂** und **NO_x** wird in Abbildung 39 gezeigt.

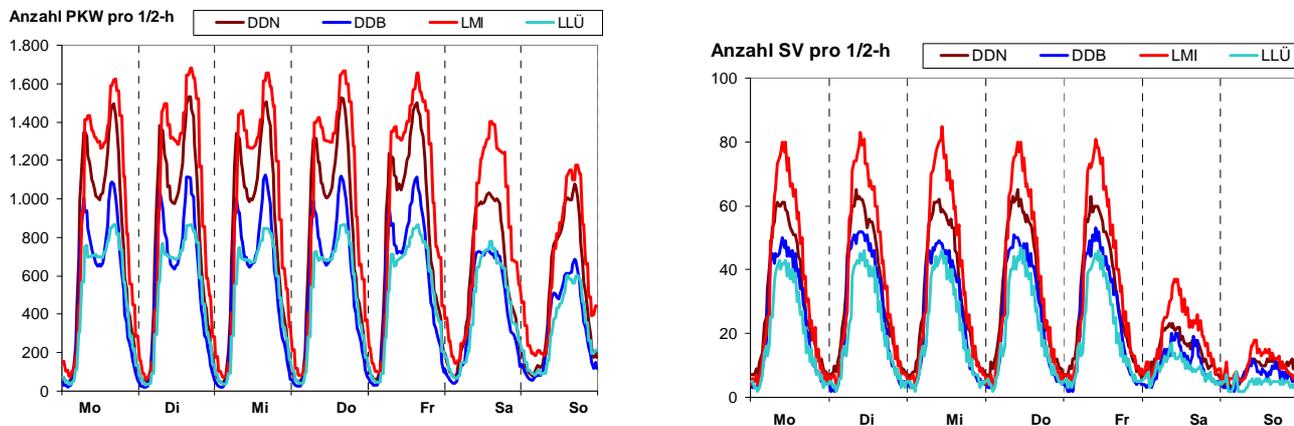


Abbildung 36: Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für die tägliche Anzahl an PKW (links) und SV (rechts)

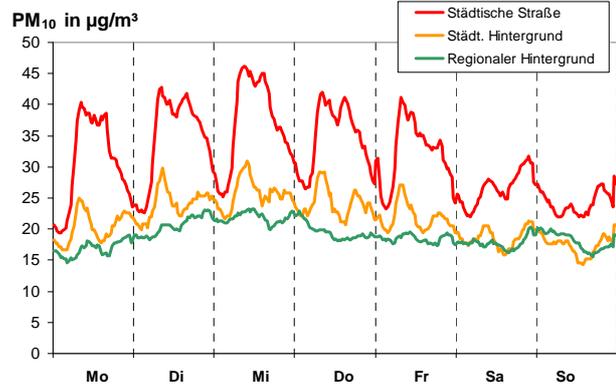
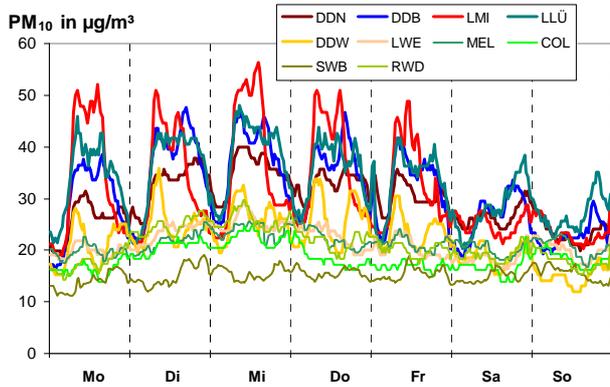


Abbildung 37: Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für PM₁₀ (links: alle Messstationen, rechts: kategorisierte Stationen)

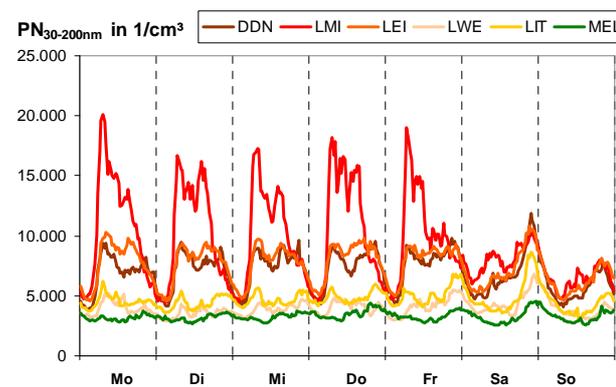
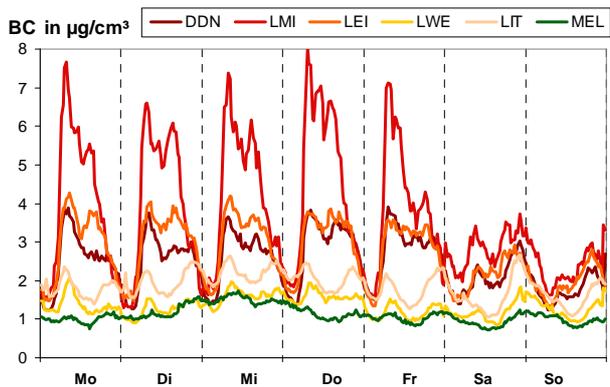


Abbildung 38: Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für Ruß_{BC} (links) und PN_{30-200 nm} (rechts)

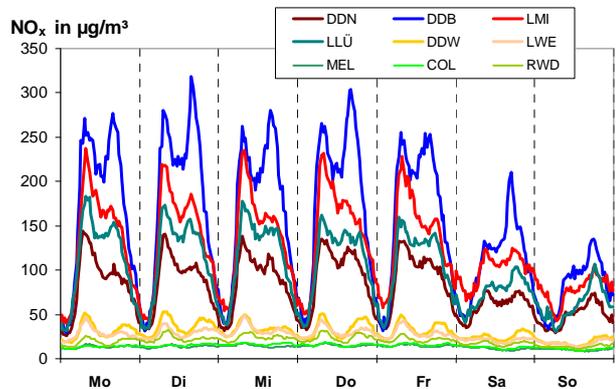
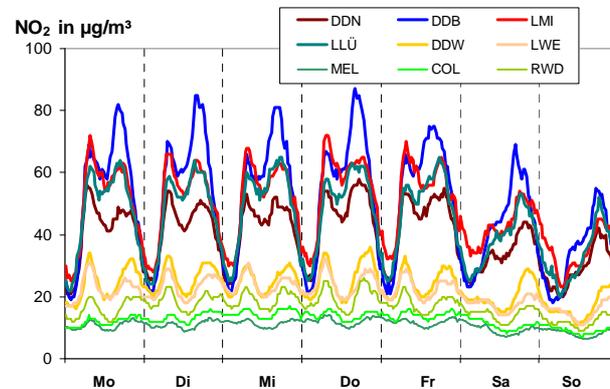


Abbildung 39: Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 für NO₂ (links) und NO_x (rechts)

5.5 PM₁₀-Verursacheranteile im mittleren Wochengang

Die Schätzung der Immissionsanteile nach Verursachern wurde nach der Lenschow-Methode in Kapitel 4.3.1 für Jahresmittelwerte beschrieben. Die Methode wurde auf den Datensatz für den mittleren Wochengang für die zwei verkehrsnahen Messstationen DDN und LMI übertragen und dort die PM₁₀-Verursacheranteile beispielhaft ermittelt.

Abbildung 40 (oben) zeigt die Ergebnisse der Analyse für Feinstaub PM₁₀ für DDN. Die gemessene Gesamtimmission setzt sich aus vier Immissionsanteilen zusammen, die jeweils einer Verursacherguppe zugeordnet wurden.

Die **regionale Hintergrundbelastung** entsteht sowohl aus Quellen innerhalb als auch außerhalb Sachsens. Sie besitzt hier den größten Anteil.

Der an der Messstation vorbeifahrende Kfz-Verkehr verursacht zwei Immissionsanteile unterschiedlicher Herkunft - die motorbedingten und nicht motorbedingten Emissionen (vergl. Kap. 4.2). Der nicht motorbedingten Immissionsanteil (**Verkehr-Aufwirblung/Abriebe**) wird durch den Verkehr verursacht, der Bodestaub aufwirbelt und Abrieb von Reifen, Bremsen und Fahrbahnbelag erzeugt. Der motorbedingte Immissionsanteil (**Verkehr-Motor**) wird durch die Auspuffemissionen der Fahrzeuge verursacht. Dieser hat einen geringen Anteil an der PM₁₀-Gesamtbelastung.

Die **restlichen Quellen in der Stadt** bilden eine Vielzahl von Einzelquellen, wie z. B. aus Industrie, Gewerbe, Hausbrand, Fahrzeugverkehr im übrigen Stadtgebiet und sonstigen Verkehr (Flug, Schiene, für Dresden auch Schiff). Dieser Anteil wird durch das Verfahren wahrscheinlich am Wochenende zu gering abgeschätzt.

Diese PM₁₀-Verursacheranalyse für die verkehrsnahen Messstation Leipzig-Mitte (LMI) zeigt Abbildung 40 (unten). Für PM₁₀ ist der Immissionsanteil „Verkehr-Motor“ an der PM₁₀-Gesamtbelastung größer als in Dresden. In LMI ist an den Wochentagen Montag bis Freitag tagsüber der Anteil „Verkehr-Motor“ deutlich größer als in den Abend- und Nachtstunden.

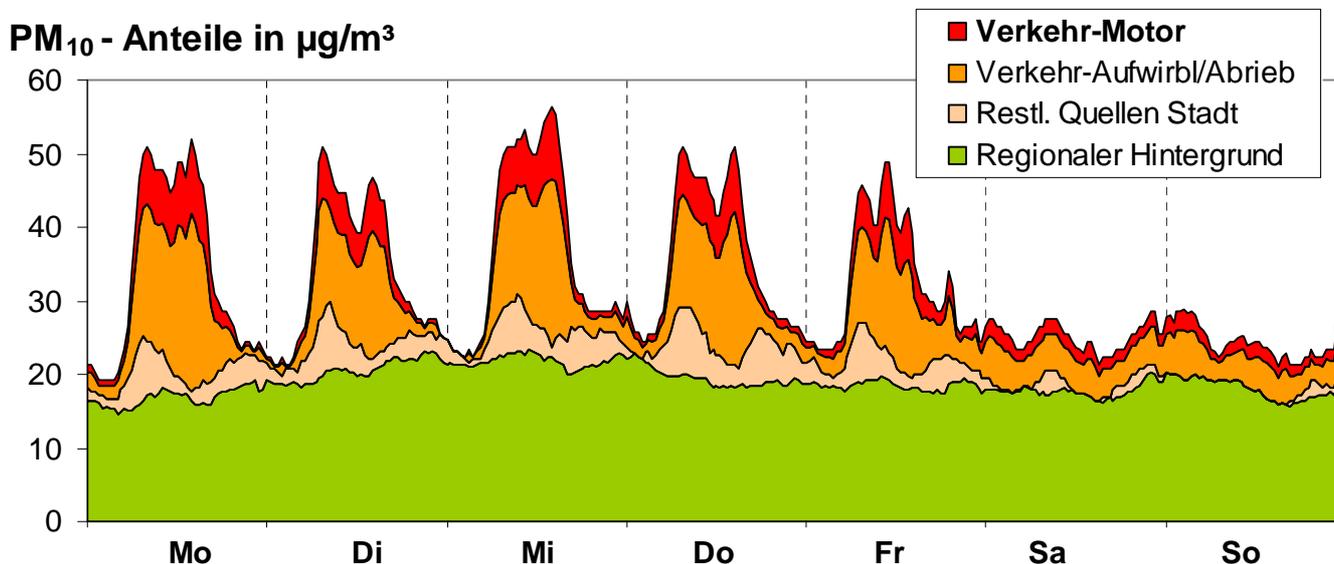
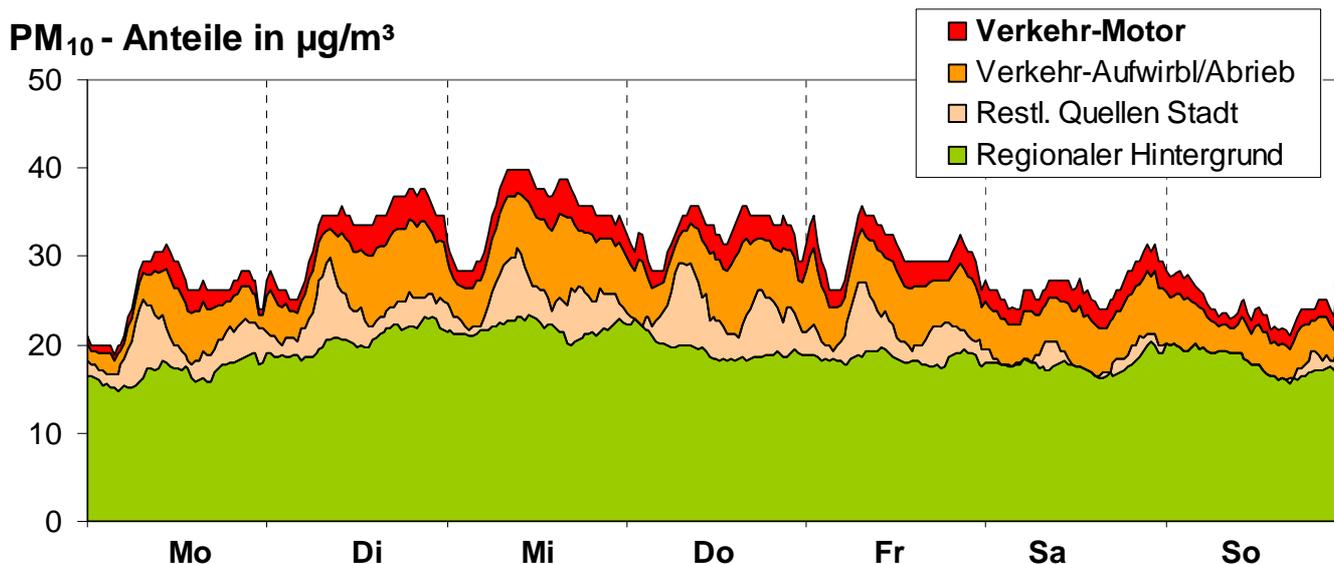


Abbildung 40: Mittlerer Wochengang für PM₁₀ im Jahr 2010 mit Verursacheranteilen an den verkehrsnahen Messstellen DDN (oben) und LMI (unten)

5.6 Mittlerer Wochengang und Schätzung des Minderungspotenzials einer Umweltzone

Der Immissionsanteil der motorbedingten Emissionen der Fahrzeuge bildet das Minderungspotenzial der Umweltzone. Dieses Minderungspotenzial wird für den mittleren Wochengang für verschiedene Messgrößen nachfolgend dargestellt.

Abbildung 41 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen für die verkehrsnahen Messstation **Dresden-Nord (DDN)** für die drei Messgrößen PM_{10} , $Ru\beta_{BC}$ und Partikelanzahl $PN_{30-200nm}$. Die oben stehende Legende gilt für alle Messgrößen. Die regionale Hintergrundbelastung ist grün dargestellt und nimmt bei allen drei Messgrößen den größten Anteil ein. Der hellbraune Anteil bezieht sich auf die restlichen Quellen in der Stadt ohne den motorbedingten Immissionsanteil. Die Aufwirblungen und Abriebe der Fahrzeuge sind hier in den restlichen Quellen der Stadt im Gegensatz zum Kapitel 5.5 ebenfalls enthalten, denn diese werden nicht von einer Umweltzone beeinflusst. Das Minderungspotenzial der Umweltzone wird als rote Fläche dargestellt.

Die obere Grafik der Abbildung 41 zeigt das Minderungspotenzial der Umweltzone für PM_{10} . Es ist ein sehr geringer Anteil der PM_{10} -Gesamtmission. Für die Komponente $Ru\beta_{BC}$ in Bildmitte und Partikelanzahl $PN_{30-200nm}$ (unten) ändern sich die Verhältnisse grundlegend. Das Minderungspotenzial nimmt einen wesentlich größeren Anteil am gemessenen Immissionswert ein als es bei PM_{10} der Fall ist. $Ru\beta_{BC}$ und Partikelanzahl $PN_{30-200nm}$ zeigen sich als deutlich empfindlichere Messgrößen zur Überwachung der Wirkung einer Umweltzone. Gleichzeitig wird deutlich, dass die Tage Montag bis Freitag mehr Minderungspotenzial besitzen als Samstag und Sonntag. Die Anteile der restlichen Quellen der Stadt und der regionalen Hintergrundbelastung werden für $Ru\beta_{BC}$ und $PN_{30-200nm}$ im Wochenverlauf nicht immer ähnlich bewertet.

Die Ergebnisse der Verursacheranalyse für die verkehrsnahen Messstation **Leipzig-Mitte (LMI)** wird in Abbildung 42 dargestellt. Für PM_{10} ist das Minderungspotenzial an der PM_{10} -Gesamtbelastung ebenfalls klein, doch etwas größer als in Dresden. Das Minderungspotenzial der Umweltzone wird durch die empfindlicheren Messverfahren für $Ru\beta_{BC}$ und Partikelanzahl $PN_{30-200nm}$ durch deutlich vergrößerte Anteile gegenüber PM_{10} eindrucksvoll gezeigt. Auch in LMI werden die Anteile der restlichen Quellen der Stadt und der regionalen Hintergrundbelastung für $Ru\beta_{BC}$ und $PN_{30-200nm}$ im Wochenverlauf nicht immer ähnlich bewertet.

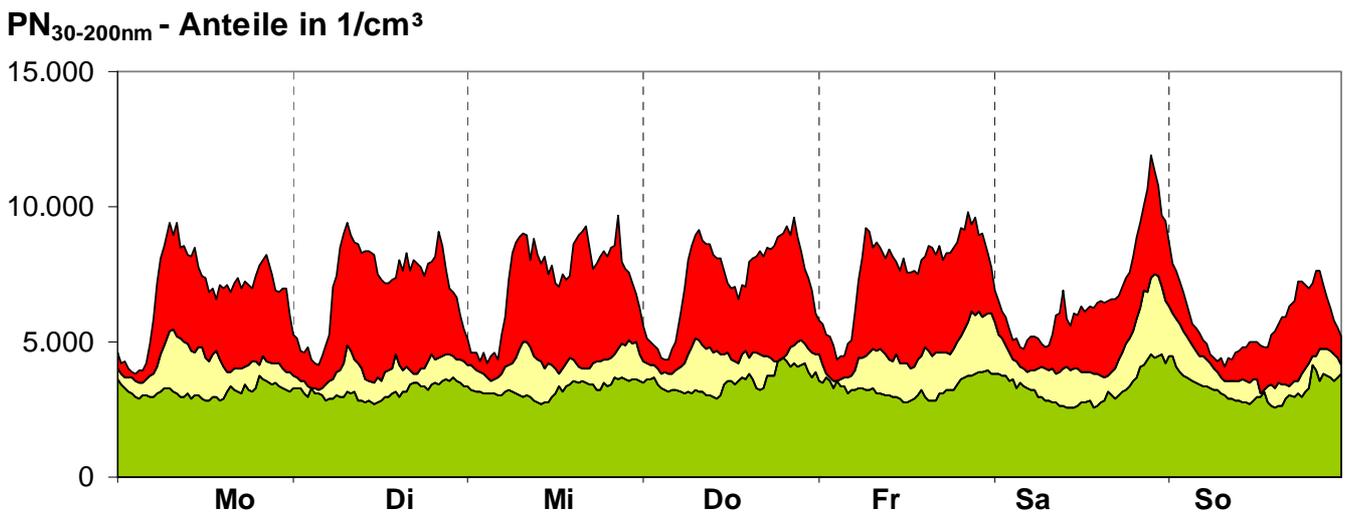
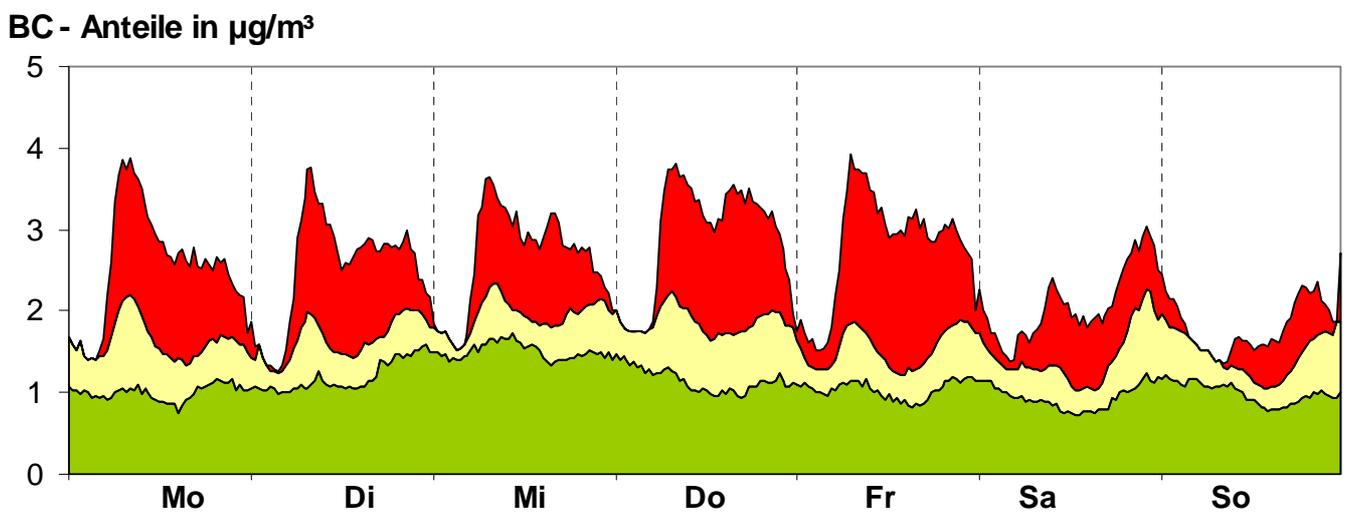
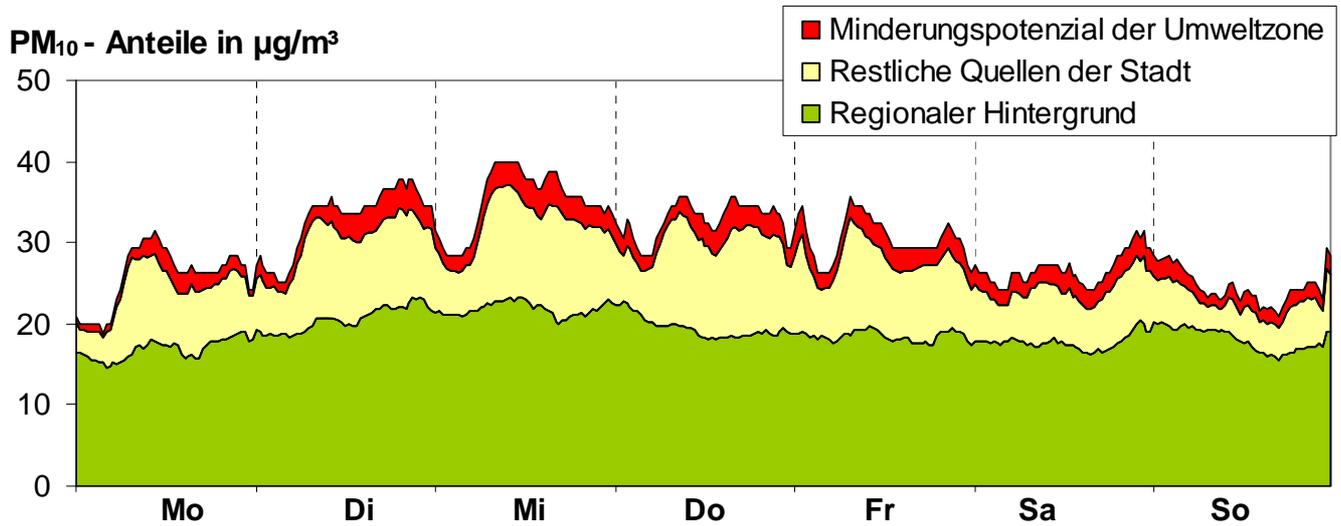


Abbildung 41: Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 mit dem Minderungspotenzial einer Umweltzone an der verkehrsnahen Messstelle DDN für PM₁₀ (oben), Ruß_{BC} (Mitte) und PN_{30-200nm} (unten)

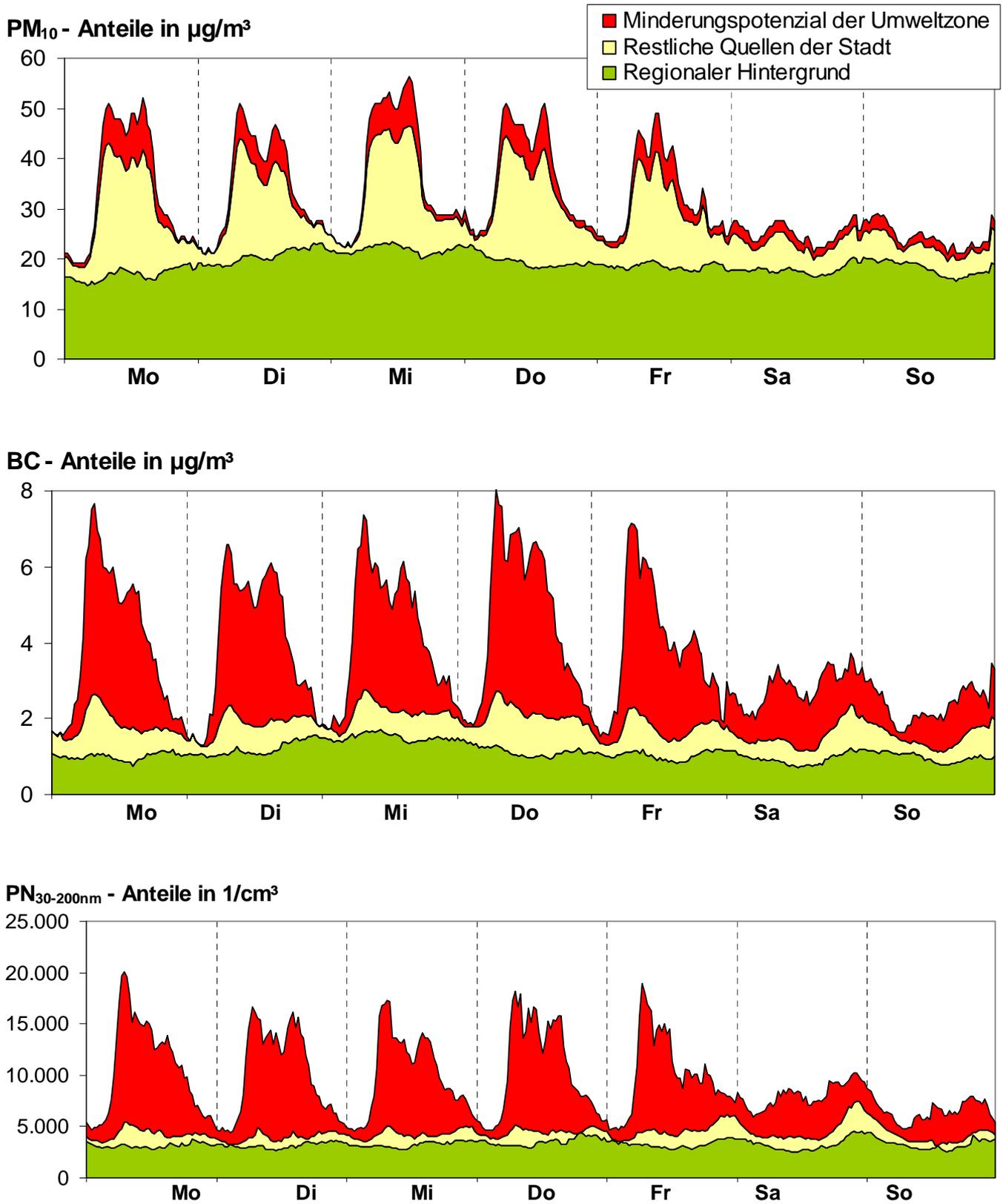


Abbildung 42: Mittlerer Wochengang im Jahr 2010 mit dem Minderungspotenzial einer Umweltzone an der verkehrsnahen Messstelle LMI für PM₁₀ (oben), Ruß_{BC} (Mitte) und PN_{30-200nm} (unten)

5.7 Analyse der Sommermonate

Einleitung

Die Sommermonate Mai bis Oktober sind weitgehend frei von winterspezifischen, zusätzlichen Emissionen und haben meist günstigere Ausbreitungsbedingungen als die Wintermonate. Deshalb liegt es nahe, die Untersuchungen im Kapitel 5.4 und 5.6 für den gesamten Datensatz des Jahres 2010 analog auf den reduzierten Datensatz des Sommerhalbjahres 2010 zu übertragen. Dies geschieht wohl wissend, dass die Aussagen dann nicht mehr für das Kalenderjahr gelten und damit die Bezugsbasis aller bisherigen Beurteilungen verlassen wird. Auch werden die Aussagen mit einer geringeren statistischen Sicherheit ausfallen, da der verfügbare Datensatz nur noch halb so groß ist.

Sommer-Winter-Vergleich zur Einordnung

Es ist bekannt, dass die Konzentrationen der meisten Luftschadstoffe durch eine Reihe von Ursachen im Winter höher als im Sommer sind. Verantwortlich dafür sind z. B. die lokalen, regionalen und überregionalen Emissionen aus Heizungsanlagen besonders bei sehr tiefen Außentemperaturen, die zusätzlichen Emissionen der Fahrzeuge im Winter, die schlechteren Ausbreitungsbedingungen insbesondere bei Inversionswetterlagen und erhöhte Ferneinträge aus Ost und Süd bei ausgeprägten Hochdruckwetterlagen.

Zur Einordnung der Ergebnisse der Sommermonate wird zunächst ein Vergleich zwischen den Mittelwerten im Winter und Sommer gemacht. Dazu wurde für jede Messgröße ein Mittelwert für den **Sommer** im Zeitraum vom 1. Mai bis 31. Oktober 2010 und ein Mittelwert für den **Winter** in den Zeiträumen vom 1. Januar bis 30. April 2010 und 1. November bis 31. Dezember 2010 berechnet und in Abbildung 43 zusammengefasst dargestellt.

Erwartungsgemäß sind die Konzentrationen der meisten Schadstoffe im Winter deutlich höher als im Sommer. Gleichzeitig fahren aber in Leipzig und Dresden im Winter weniger Fahrzeuge als im Sommer.

Die **Anzahl der Kfz** sank im Winter im Mittel über alle Zählstellen um 14 % für den SV und um 5 % für PKW. Die Reduzierungen für den SV waren in DDB mit -15 %, DDN mit -19% und LLÜ mit 13 % deutlich größer als in LMI mit -7 %. Auch die Verringerung der PKW-Anzahl im Winter war in LMI mit -3 % geringer als an den anderen Orten (LLÜ -6 %, DDN -5 %, DDB -6 %).

Der Mittelwert für **PM₁₀** war im Winter meist um ein Drittel größer als im Sommer. In LMI war der **PM₁₀-Zuwachs** im Winter geringer als an den anderen verkehrsnahen Messstellen DDN, DDB und LLÜ.

Für **PM_{2,5}** vergrößert sich dieser Unterschied von Winter zu Sommer gegenüber **PM₁₀**. Im Winter waren die Werte etwa doppelt so groß wie im Sommer.

Die gleiche Tendenz trat für **Ruß** auf, wobei die relativen Änderungen vom Sommer zum Winter deutlich kleiner als im **PM_{2,5}** waren. Der **Ruß_{EC}-Zuwachs** im Winter ist in Dresden größer als in Leipzig. Weiterhin ist der Zuwachs im städtischen Hintergrund (LWE 1,0 µg/m³, DDW 1,5 µg/m³) größer als an den verkehrsnahen Messstellen (Dresden ca. 1,0 µg/m³, Leipzig ca. 0,6 µg/m³). Der mit Abstand höchste **Ruß_{EC}-Zuwachs** im Winter wurde damit in DDW registriert. Die schlechten Ausbreitungsbedingungen im Elbtal und ggf. auch Emissionen aus Kaminen werden als Ursache vermutet.

Für die **Partikelanzahl PN_{30-200nm}** war die Tendenz entgegengesetzt. Die höheren Konzentrationen traten an fast allen Orten im Sommer und nicht im Winter auf, wobei die Unterschiede kleiner 10 % (Ausnahme LMI) und damit eher nicht signifikant waren. In der Tendenz folgt damit die Partikelanzahl **PN_{30-200nm}** am ehesten der Tendenz der Kfz-Zahlen. Die Ausnahme an LMI für **Ruß_{BC}** und **PN_{30-200nm}** ist wahrscheinlich auf die Beeinflussung durch Bautätigkeit im Sommer und die sicher zu geringe Datenbasis zurückzuführen, da dort die Messung nur im 2. Halbjahr erfolgte.

Die prozentuale Änderung des Jahresmittelwertes 2010 zum Mittelwert des Sommerhalbjahres 2010 sind für alle Messgrößen in Tabelle 20 und Tabelle 21 aufgeführt. Der Kfz-Verkehr ist im Sommer geringfügig höher als im Jahresdurchschnitt. Mit Ausnahme von LMI erhöht sich die Anzahl der PKW um 3 bis 4 % und des SV um 7 bis 11 %. Die Immissionen (Ausnahme **PN_{30-200nm}**) sinken im Sommer generell gegenüber dem Jahresmittelwert. Für **PN_{30-200nm}** gibt es praktisch keine Änderung (-1% ... 6%).

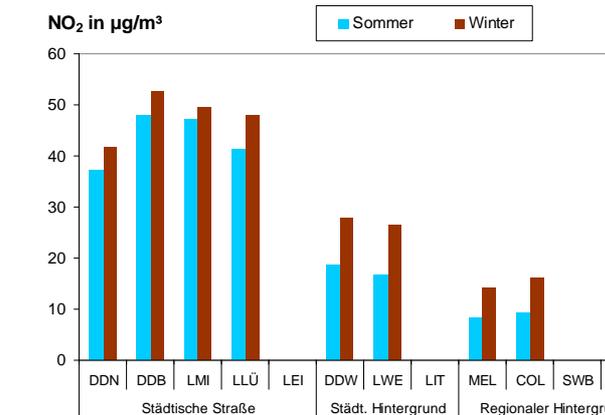
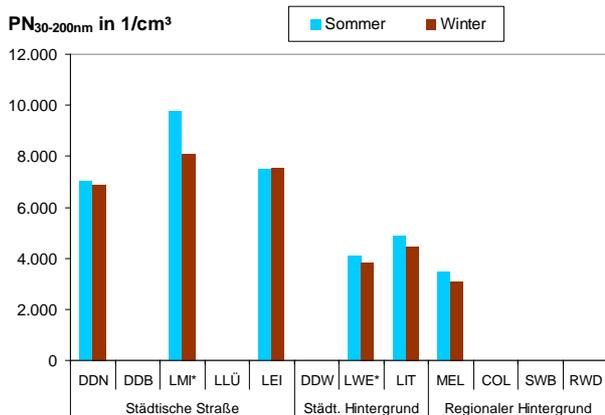
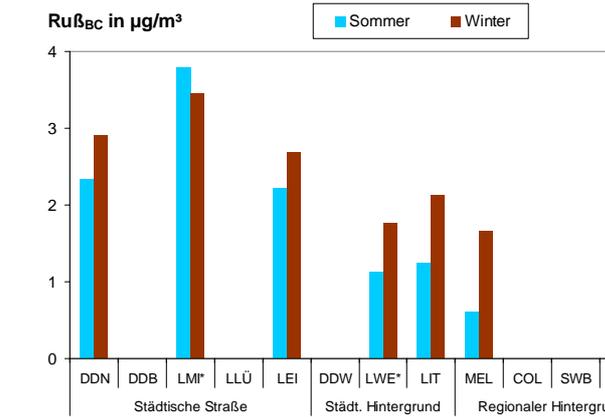
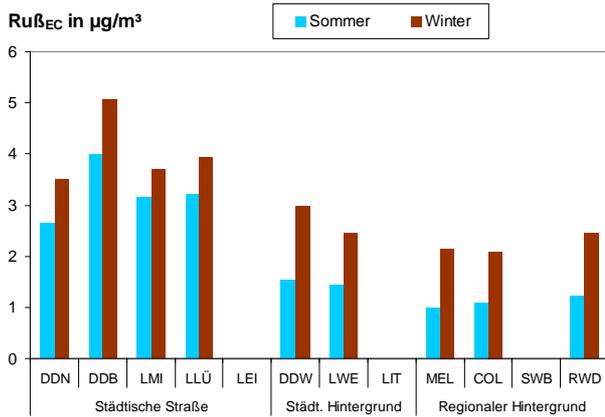
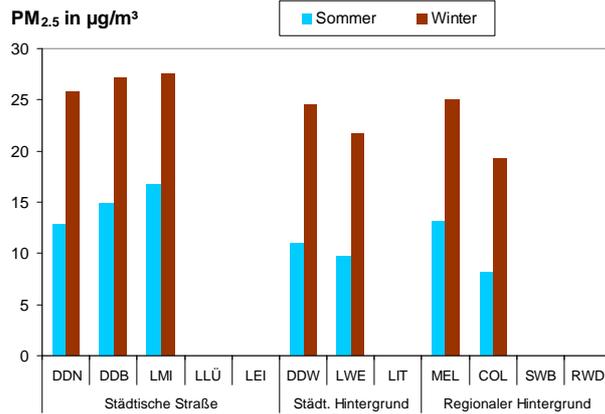
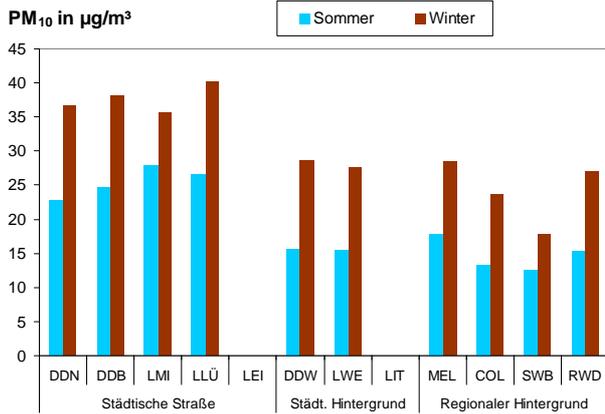
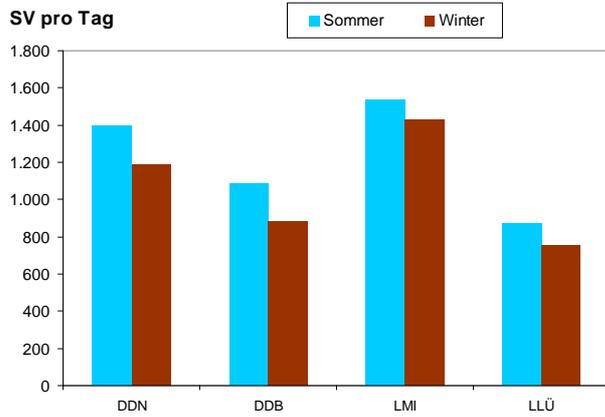
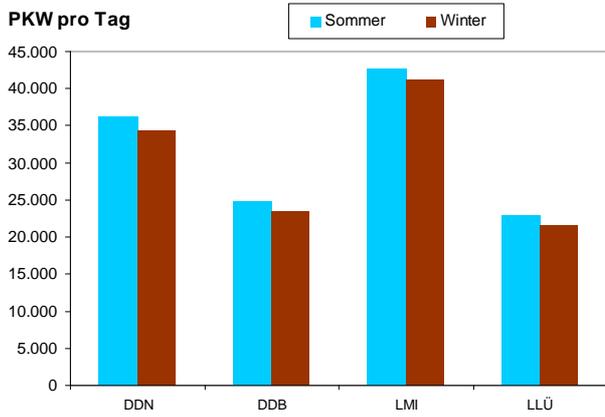


Abbildung 43: Vergleich der Mittelwerte für Sommer und Winter 2010 (oben Kfz-Zahlen, darunter Schadstoffe PM₁₀, PM_{2.5} Ruß_{EC}, Ruß_{BC} und unten PN_{30-200nm} bzw. NO₂)

Die mit * bezeichneten Messstellen besitzen für die betreffende Messgröße einen reduzierten Datensatz. Die Messung erfolgte nur im 2. Halbjahr 2010.

Tabelle 20: Prozentuale Änderung der Kfz-Zahlen vom Jahresmittelwert 2010 zum Mittelwert des Sommers 2010

Messstation	DDN		DDB		LMI*		LLÜ	
	SV	PKW	SV	PKW	SV	PKW	SV	PKW
Kfz-Anzahl	11%	4%	10%	3%	(4%)*	(2%)*	7%	3%

* erhebliche Ausfälle der Kfz-Zählung in den Sommermonaten

Tabelle 21: Prozentuale Änderung des Sommermittelwertes 2010 gegenüber dem Jahresmittelwert 2010

Stationstyp	Städtische Straße					Städtischer Hintergrund			Regionaler Hintergrund			
Messstation	DDN	DDB	LMI	LLÜ	LEI	DDW	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD
PM ₁₀	-23%	-21%	-12%	-20%		-29%	-54%		-24%	-28%	-17%	-28%
PM _{2,5}	-33%	-29%	-24%			-38%	-38%		-32%	-40%		
EC	-14%	-12%	-8%	-10%		-32%	-26%		-38%	-31%		-33%
BC	-11%		3%		-10%		-16%	-26%	-46%			
PN _{30-200nm}	1%		4%		0%		3%	4%	6%			
PM _{30-200nm}	-3%		3%		-4%		-2%	-4%	-4%			
NO ₂	-6%	-5%	-3%	-7%		-20%	-23%		-26%	-26%		-28%
NO _x	-9%	-5%	-5%	-11%		-24%	-26%		-26%	-25%		-29%

Schätzung der Immissionsanteile durch lokale motorbedingte Emissionen im Sommer

Die Untersuchungen im Kapitel 1.1 wurden ebenfalls auf den reduzierten Datensatz des Sommerhalbjahres übertragen. Die Ergebnisse der einzelnen Messverfahren für den Immissionsanteil durch die lokalen Fahrzeuge sind in Tabelle 22 aufgelistet. Zum besseren Vergleich sind neben den Sommermittelwerten 2010 auch die Ergebnisse für das ganze Jahr 2010 (Jahresmittelwert) aufgenommen. Die jeweiligen Messgrößen besitzen unter Berücksichtigung der Unsicherheit des Ermittlungsverfahrens (Messverfahren, Bilanz) in etwa den gleichen Wert im Sommer und im ganzen Jahr. Die Kfz-Zählstellen registrierten im Sommer geringfügig mehr Kfz als im Jahresdurchschnitt. An LMI wird der Zuwachs durch zusätzliche Kfz-Emissionen der Baustellenfahrzeuge in unmittelbarer Nähe der Messstelle im Sommer gegenüber dem ganzen Jahr für PM₁₀, PM_{2,5}, EC, BC, PN_{30-200nm} und PM_{30-200nm} abgebildet. Dass dies vom Trend her durchgängig für alle Messverfahren überhaupt nachgewiesen wurde, spricht für die sehr hohe Präzision der Durchführung der Messungen. In Tabelle 23 werden die aus den einzelnen Messgrößen gemittelten Immissionsanteile für jede Messstation aufgelistet. Die meist erhöhten Werte im Sommer gegenüber dem ganzen Jahr entsprechen den Kfz-Zählwerten. Auch wird die Spannweite (Standardabweichung) im Sommer leicht kleiner aufgrund der geringeren Einflüsse von Meteorologie.

Tabelle 22: Ermittelte Immissionsanteile durch lokale motorbedingte Emissionen für verschiedene Messgrößen an den verkehrsnahen Messstellen als Mittelwerte für den Sommer 2010 und das ganze Jahr 2010

Messstation	DDN		DDB		LMI		LLÜ		LEI	
	Sommer	Jahr	Sommer	Jahr	Sommer	Jahr	Sommer	Jahr	Sommer	Jahr
PM ₁₀ in µg/m ³	2,1	2,4	2,7	2,9	3,2	2,5	3,3	3,4		
PM _{2,5} in µg/m ³	1,5	1,5	2,7	2,5	3,3	2,7				
EC in µg/m ³	1,0	0,9	2,2	2,2	1,5	1,2	1,5	1,3		
BC in µg/m ³	1,1	1,0			2,3	1,9			1,0	0,8
PN _{30-200nm} in 1/cm ³	2,5 * 10 ³	2,6 * 10 ³			5,3 * 10 ³	5,0 * 10 ³			3,0 * 10 ³	3,2 * 10 ³
PM _{30-200nm} in µg/m ³	1,6	1,6			3,4	3,1			2,1	2,2

Tabelle 23: Mittlerer Immissionsanteil durch motorbedingte Emissionen des lokalen Verkehrs und deren Standardabweichung für verschiedene Messverfahren als Mittelwert im Sommer 2010 und im ganzen Jahr 2010 an den verkehrsnahen Messstellen

Messstation	Berechnungsgrundlage	Immissionsanteil im Sommer 2010	Immissionsanteil im Jahr 2010
Dresden-Nord (DDN)	PM ₁₀ , PM _{2,5} , EC, BC, PN _{30-200nm} , PM _{30-200nm}	1,4 µg/m ³ +/-0,4 µg/m ³	1,4 µg/m ³ +/-0,5 µg/m ³
Dresden-Bergstraße (DDB)	PM ₁₀ , PM _{2,5} , EC	2,5 µg/m ³ +/-0,3 µg/m ³	2,4 µg/m ³ +/-0,3 µg/m ³
Leipzig-Mitte (LMI)	PM ₁₀ , PM _{2,5} , EC, BC, PN _{30-200nm} , PM _{30-200nm}	2,6 µg/m ³ +/-0,8 µg/m ³	2,2 µg/m ³ +/-0,8 µg/m ³
Leipzig-Lützner Str. (LLÜ)	PM ₁₀ , EC	2,1 µg/m ³ +/-1,0 µg/m ³	2,0 µg/m ³ +/-1,2 µg/m ³
Leipzig-Eisenbahnstr. (LEI)	BC, PN _{30-200nm} , PM _{30-200nm}	1,5 µg/m ³ +/-0,6 µg/m ³	1,5 µg/m ³ +/-0,8 µg/m ³

Mittlerer Wochengang im Sommer

Die Untersuchungen im Kapitel 5.4 wurden auf den reduzierten Datensatz des Sommerhalbjahres übertragen.

Abbildung 44 zeigt die Ergebnisse für die **Kfz-Zählstellen**. Auffällige Änderungen im mittleren Wochenverlauf gegenüber den Jahresdaten (Abbildung 36) sind nicht zu erkennen.

Der mittlere **PM₁₀**-Wochengang im Sommer 2010 wird in Abbildung 45 gezeigt. Der Wochengang im Sommer sieht an den täglichen Konzentrationsmaxima ähnlich aus wie im gesamten Kalenderjahr (vergl. Abbildung 37). Zur Tageszeit wird an den verkehrsnahen Messstationen meist ein gleich hohes Konzentrationsniveau wie im gesamten Kalenderjahr erreicht. Im Gegensatz dazu ist das Konzentrationsminimum in den frühen Morgenstunden an den städtischen Messstationen im Sommer deutlich geringer als im gesamten Kalenderjahr. Aus der kategorisierten Darstellung (rechte Seite) ist zu erkennen, dass im regionalen Hintergrund das Niveau im Sommer niedriger ist als im gesamten Kalenderjahr. Im Sommer ist ein gleichmäßiger Anstieg der PM₁₀-Konzentration im regionalen Hintergrund von Montag bis Samstag zu erkennen. Diese Tendenz ist auf Grund der Akkumulation der erhöhten PM₁₀-Emissionen an den Werktagen Montag bis Freitag und den geringeren PM₁₀-Emissionen am Wochenende in der Außenluft zu erwarten. Diese Tendenz wurde im mittleren Wochengang für das Kalenderjahr (vergl. Abbildung 37) durch wenige, aber intensive PM₁₀-Ferneinträge im Winter verwaschen. An dieser Stelle wird der Vorteil der weniger gestörten Sommeranalyse gegenüber der Kalenderjahranalyse gut sichtbar.

In Abbildung 46 (rechte Seite) wird der mittlere **BC**-Wochengang im Sommer 2010 gezeigt. Im Sommer wurde ein ähnlicher Verlauf wie über das gesamte Jahr registriert. Die Maxima in der morgendlichen Verkehrsspitze von Montag bis Freitag sind jedoch größer. In LMI beträgt die Erhöhung der Maxima etwa 1 µg/m³ BC. Der BC-Verlauf von an der verkehrsnahen Messstation DDN in Dresden und LEI in Leipzig ist sehr ähnlich und auf nahezu gleichem Niveau.

Der mittlere **PN_{30-200nm}**-Wochengang im Sommer 2010 wird in Abbildung 46 (rechte Seite) gezeigt. Wesentliche Unterschiede zum mittleren Wochengang gegenüber dem gesamten Jahr sind nicht erkennbar. Im Gegensatz zu BC werden zwischen DDN und LEI deutliche Konzentrationsunterschiede für PN_{30-200nm} registriert.

In Abbildung 47 wird gezeigt, dass die höchsten NO₂- und NO_x-Konzentrationsspitzen auch im Sommer an DDB auftraten.

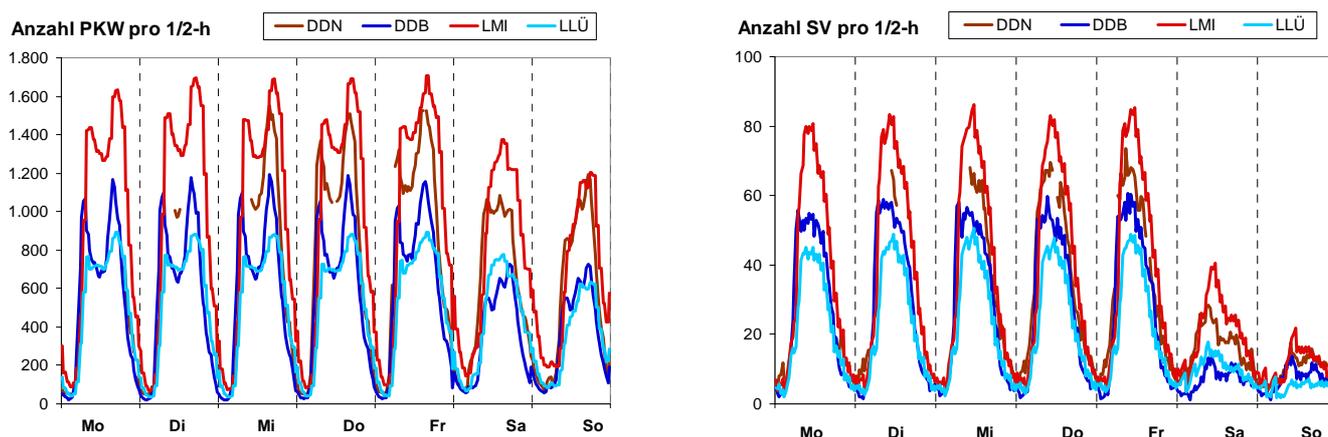


Abbildung 44: Mittlerer Wochengang für die tägliche Anzahl an PKW (links) und SV (rechts) im Sommer 2010

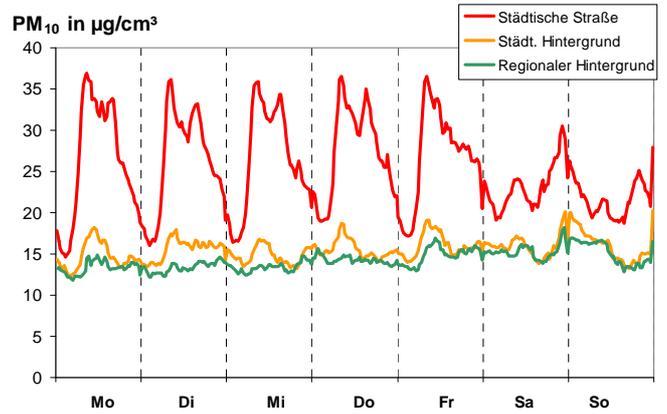
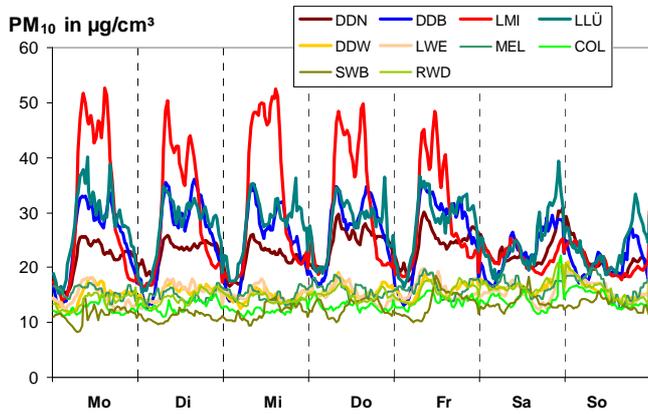


Abbildung 45: Mittlerer Wochengang für PM₁₀ (links: alle Messtationen, rechts: kategorisierte Stationen) im Sommer 2010

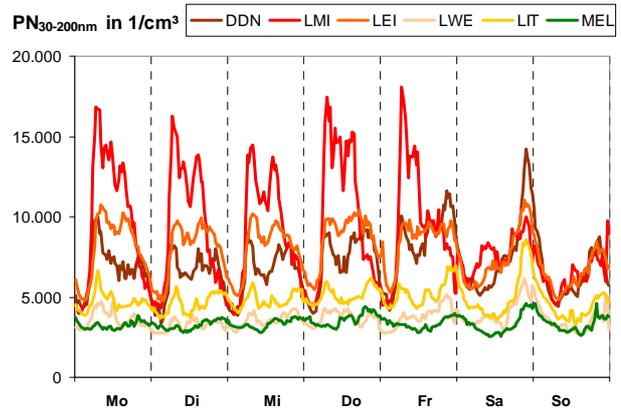
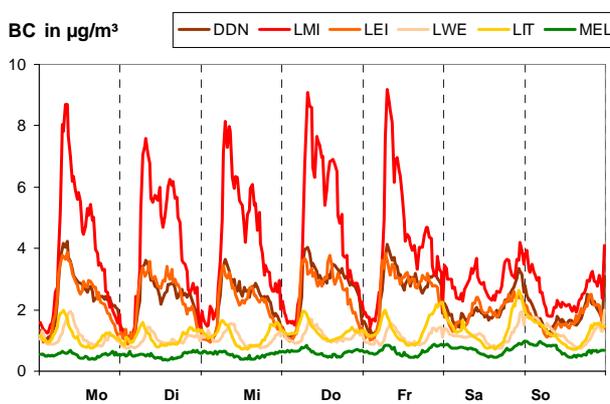


Abbildung 46: Mittlerer Wochengang im Sommer 2010 für Ruß_{BC} (links) und PN_{30-200nm} (rechts)

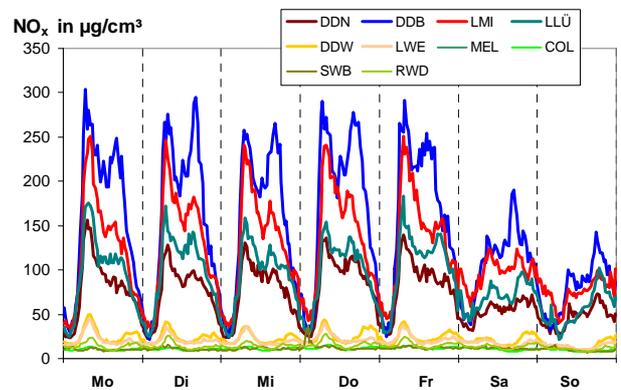
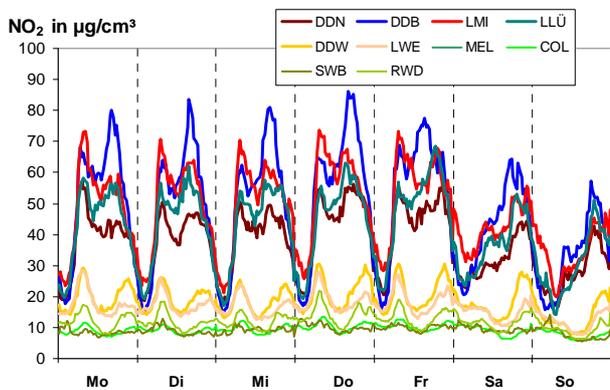


Abbildung 47: Mittlerer Wochengang im Sommer 2010 für NO₂ (links) und NO_x (rechts)

Verursacheranteile im mittleren Wochengang im Sommer

Analog zu Kapiteln 5.5 und 5.6 wurden die Verursacheranteile für das Sommerhalbjahr ermittelt. Die lokalen motorbedingten Verkehrsemissionen sind dabei wieder als Minderungspotenzial der Umweltzone dargestellt. Der Verlauf der Immissionsanteile für den mittleren Wochengang im Sommerhalbjahr wird in Abbildung 48 für die verkehrsnahen Messstation DDN und Abbildung 49 für LMI für die drei Messgrößen PM_{10} , $Ru\beta_{BC}$ und $PN_{30-200nm}$ gut sichtbar.

Die Immissionsanteile im Sommer haben einen ähnlichen Verlauf wie für das Jahresmittel (vergl. Abbildung 41 und 42). Der regionale Hintergrund ist im Konzentrationsniveau für PM_{10} und BC im Sommer deutlich niedriger als im Jahresmittel. Das Niveau reduziert sich im Sommer um $\frac{1}{4}$ für PM_{10} und um $\frac{1}{2}$ für BC. Weiterhin ist das regionale Hintergrundniveau nahezu gleich hoch an allen Wochentagen. Dem gegenüber wird für $PN_{30-200nm}$ praktisch kein Unterschied für das regionale Hintergrundniveau zwischen Sommer und dem ganzen Jahr festgestellt.

An DDN wächst das lokale Maximum am späten Samstagabend im Sommer gegenüber dem Jahresmittelwert deutlich für PM_{10} , $Ru\beta_{BC}$ und $PN_{30-200nm}$ an. Das Samstag-Maximum für $PN_{30-200nm}$ ist deutlich höher als an den Arbeitstagen Montag bis Freitag. An LMI können diese Verhältnisse wie an DDN nicht festgestellt werden. Das Samstag-Maximum für PN ist deutlich niedriger als an den Wochentagen. Die Messgrößen $PN_{30-200nm}$, BC und PM_{10} zeigen übereinstimmend, dass die Aktivitäten am späten Samstagabend in Dresden stärker ausgeprägt sind als in Leipzig.

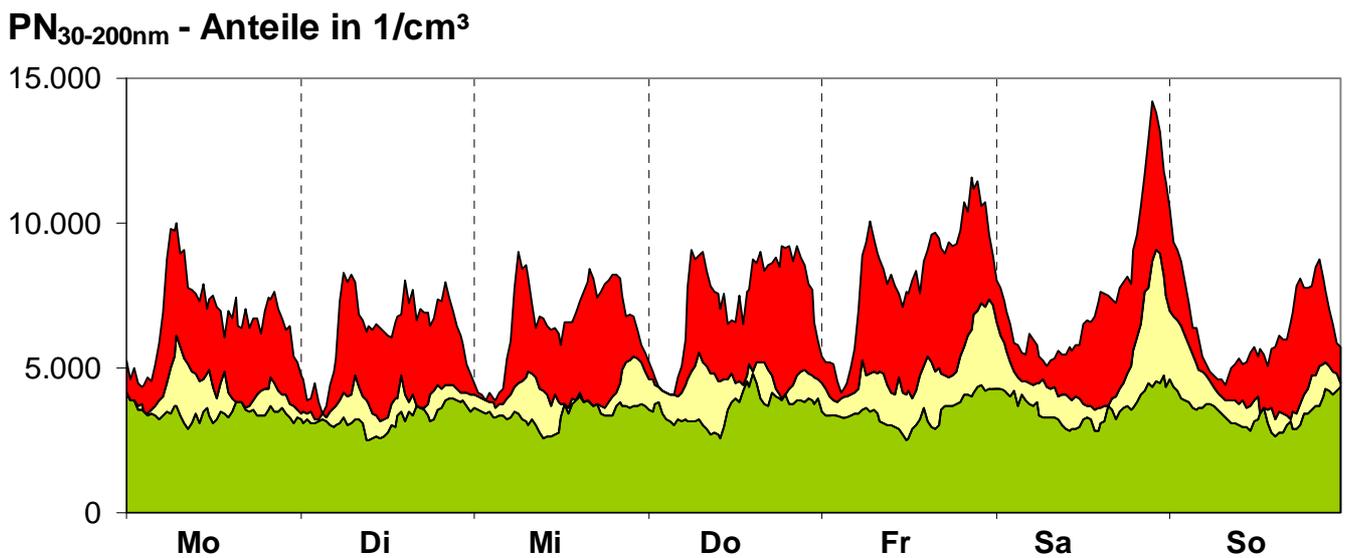
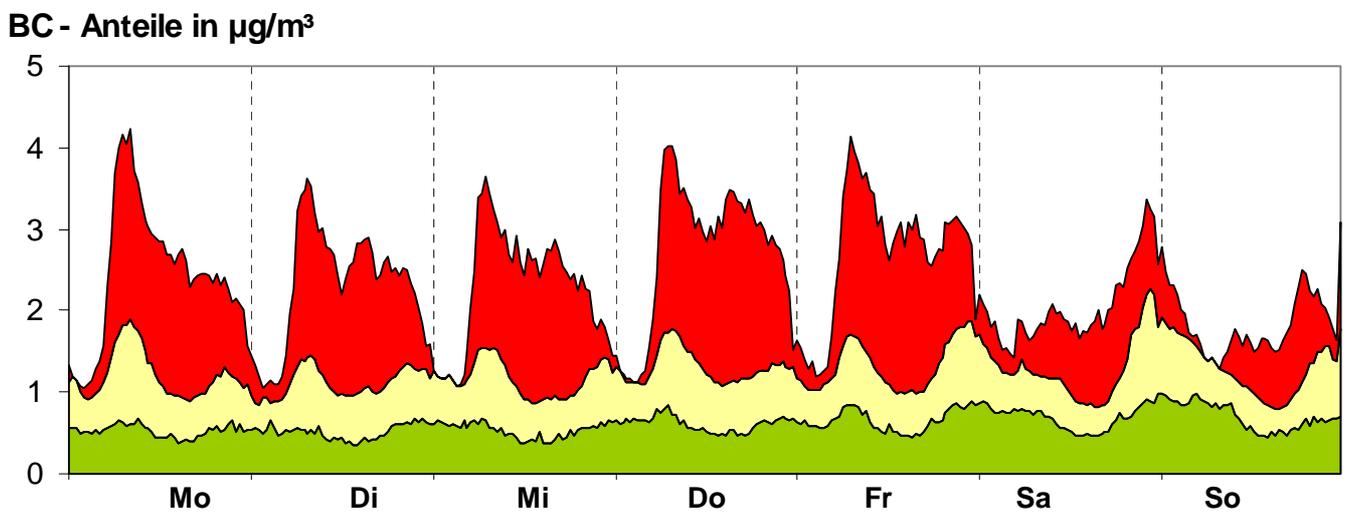
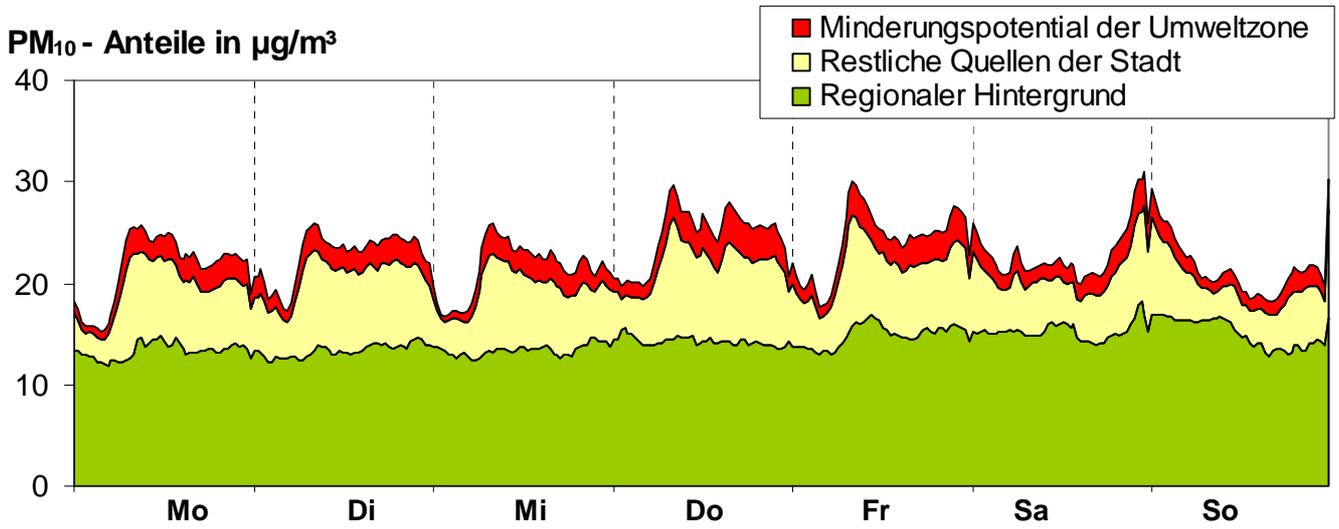
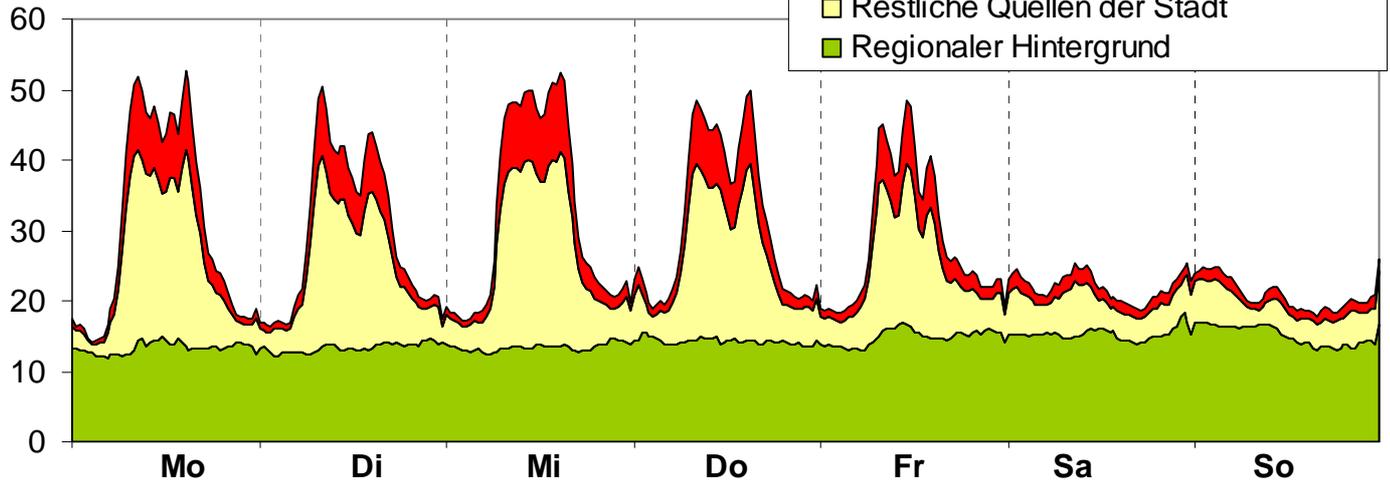
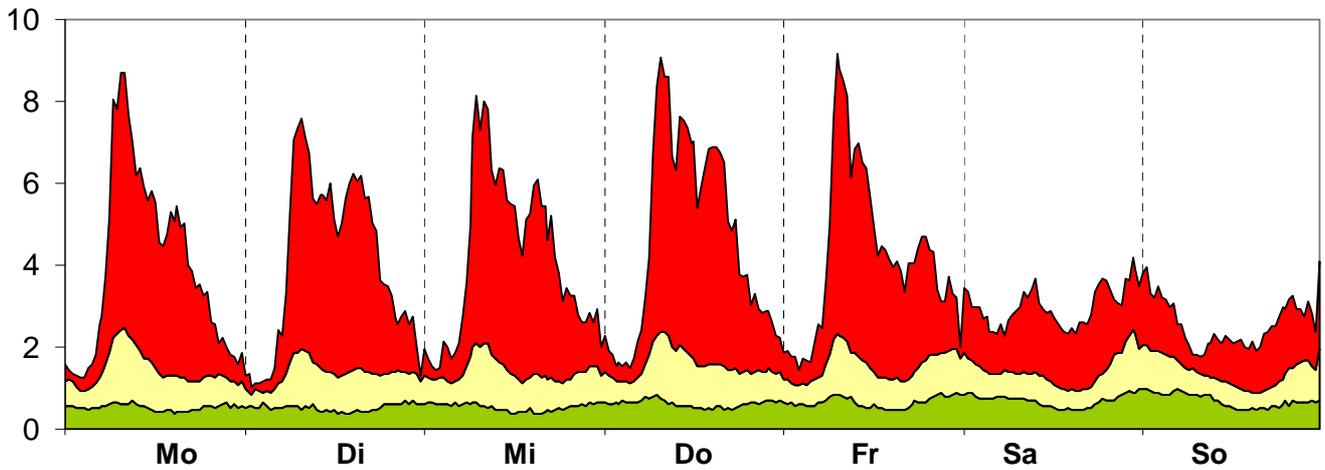


Abbildung 48: Mittlerer Wochengang im Sommer 2010 mit dem Minderungspotenzial einer Umweltzone an der verkehrsnahen Messstelle DDN für PM₁₀ (oben), Ruß_{BC} (mitte) und PN_{30-200nm} (unten)

PM₁₀ - Anteile in µg/m³



BC - Anteile in µg/m³



PN_{30-200nm} - Anteile in 1/cm³

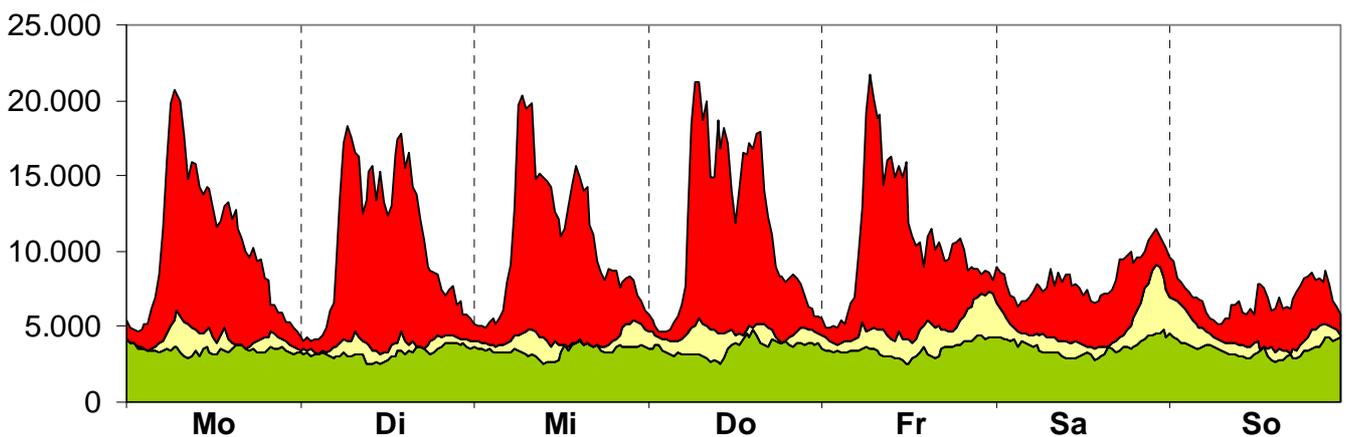


Abbildung 49: Mittlerer Wochengang im Sommer 2010 mit dem Minderungspotenzial einer Umweltzone an der verkehrsnahen Messstelle LMI für PM₁₀ (oben), Ruß_{BC} (mitte) und PN_{30-200nm} (unten)

5.8 Partikelmassenfraktionen und Inhaltsstoffe mittels Impaktormessungen in LEI

Einleitung

Im Rahmen des UBA-UFOPLAN-Vorhaben [UBA, 2012] zur Charakterisierung ultrafeiner Partikel in Deutschland wurden u. a. Impaktor-Messungen in Leipzig in der Eisenbahnstraße (LEI) durchgeführt. Innerhalb von drei Jahren (2009, 2010, Anfang 2011) wurden ein- oder zweitägige Proben mit einem 5-stufigen und einem 10-stufigen Impaktor aufgenommen und analysiert. Die Impaktoren sammeln Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser von 0,05 µm bis 10 µm auf fünf Stufen oder von 0,015 µm bis 16 µm auf 10 Stufen (vgl. Tabelle 24). Angaben zu den Analyseverfahren sind in Anlage 5 enthalten.

Partikelmassen und Inhaltsstoffe können so in Abhängigkeit von der Partikelgrößenfraktion bestimmt werden. Daraus lassen sich Hauptquellen für die Partikelbelastung abschätzen. Die Anzahl der Proben ist jedoch aufgrund der hohen Kosten für die chemischen Analysen begrenzt. Die Ergebnisse sind als Orientierung anzusehen.

Ergebnisse mit dem 10-stufigen Impaktor

Die Ergebnisse mit dem 10-stufigen Impaktor zeigt Abbildung 50. Die Messungen fanden in einer Woche mit weitgehend stabiler Wetterlage statt, so dass meteorologische Einflüsse für die Unterschiede weitestgehend ausgeschlossen werden können. Je zwei Messungen an einem Wochenende bzw. Wochentagen wurden im Herbst 2010 durchgeführt. In Tabelle 25 sind die Mittelwerte der Massekonzentrationen und die der Hauptbestandteile für die einzelnen Stufen zusammengefasst.

Die direkten motorbedingten Emissionen der Dieselfahrzeuge sind überwiegend in den Stufen 1 bis 3 bzw. von 0,015 bis 0,125 µm zu finden. Deshalb sind die Werte an den Wochentagen mit viel Verkehr (PKW, SV) größer als am Wochenende mit deutlich weniger SV. Die nicht motorbedingten Emissionen der Fahrzeuge verursachen deutlich größere Partikel durch Aufwirbelung (Reemission) und mechanische Abriebe. Sie werden in den Stufen 7 bis 10 (1 – 16 µm) gesammelt, die auch wieder deutlich höhere Werte an den Wochentagen als am Wochenende besitzen. Darüber hinaus gibt es eine Reihe weiterer Emissionsquellen, die in verschiedenen Stufen gesammelt werden. So sind z. B. Bioaerosole eher in den großen Stufen vorhanden. Partikel aus Holzheizungen (Stufen 3 – 5) sind meist etwas größer als die Verbrennungspartikel aus dem Verkehr. Die Proben wurden bei warmen Außentemperaturen im Herbst 2010 gesammelt. Zu diesem Zeitpunkt spielten Emissionen aus Holzheizungen keine Rolle. Partikel, die längere Zeit in der Luft schweben, können zu größeren Partikeln zusammenwachsen und sehr weit verfrachtet werden. Sie bestimmen oft den Wert auf den Stufen 5 und 6 (0,25 – 1 µm).

Die Unterschiede in der PM-Massenkonzentration zwischen den Wochenenden und den Wochentagen werden auf Grund der jeweils vorwiegenden Quellen in der Stadt verursacht werden. In Verbindung mit den Ergebnissen der chemischen Untersuchungen (Tabelle 25) wird gezeigt, dass in der Eisenbahnstraße (LEI) erhebliche Aerosolanteile besonders bei den ultrafeinen Partikeln (Stufe 1-3) aber auch bei den größeren Partikeln (Stufe 7-10) aus dem Straßenverkehr stammen. Die direkten motorbedingten Emissionen auf den Stufen 1 bis 3 des 10-stufigen Berner-Impaktors sollten vor und nach Einführung der Umweltzone verglichen werden. Dieser Masseanteil, aber vor allem dessen Ruß-Anteil (Abbildung 51), sollte nach der Einführung der Umweltzone sinken.

Tabelle 24: Partikelgrößenbereich der zwei Impaktortypen

Impaktorstufe	5-stufiger Impaktor	10-stufiger Impaktor
1	0,05 – 0,14 µm	0,015 -0,03 µm
2	0,14 – 0,42 µm	0,03 – 0,06 µm
3	0,42 – 1,2 µm	0,06 – 0,125 µm
4	1,2 – 3,5 µm	0,125 – 0,25 µm
5	3,5 – 10 µm	0,25 – 0,5 µm
6		0,5 – 1,0 µm
7		1,0 – 2,0 µm
8		2,0 – 4,0 µm
9		4,0 – 8,0 µm
10		8,0 – 16,0 µm

Tabelle 25: Mittelwerte für Masse und Inhaltsstoffe der Messung (N=4) mit dem 10-stufigen Impaktor in der Eisenbahnstraße (LEI) im Herbst 2010

Fraktion μm	Massekonz. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	OC $\mu\text{g}/\text{m}^3$	EC $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Nitrat $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Sulfat $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Ammonium $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0,015-0,03	0,18	0,06	0,06	n.a.	n.a.	n.a.
0,03-0,06	0,54	0,10	0,19	0,04	0,05	0,03
0,06-0,125	1,08	0,16	0,42	0,07	0,10	0,06
0,125-0,25	1,84	0,23	0,50	0,17	0,21	0,12
0,25-0,5	4,67	0,40	0,92	0,94	0,67	0,44
0,5-1,0	5,80	0,44	0,95	1,17	0,97	0,68
1,0-2,0	1,66	0,23	0,18	0,22	0,15	0,08
2,0-4,0	2,18	0,17	0,15	0,30	0,06	0,02
4,0-8,0	1,83	0,16	0,11	0,20	0,04	0,01
8,0-16,0	1,53	0,19	0,10	0,08	0,02	0,00

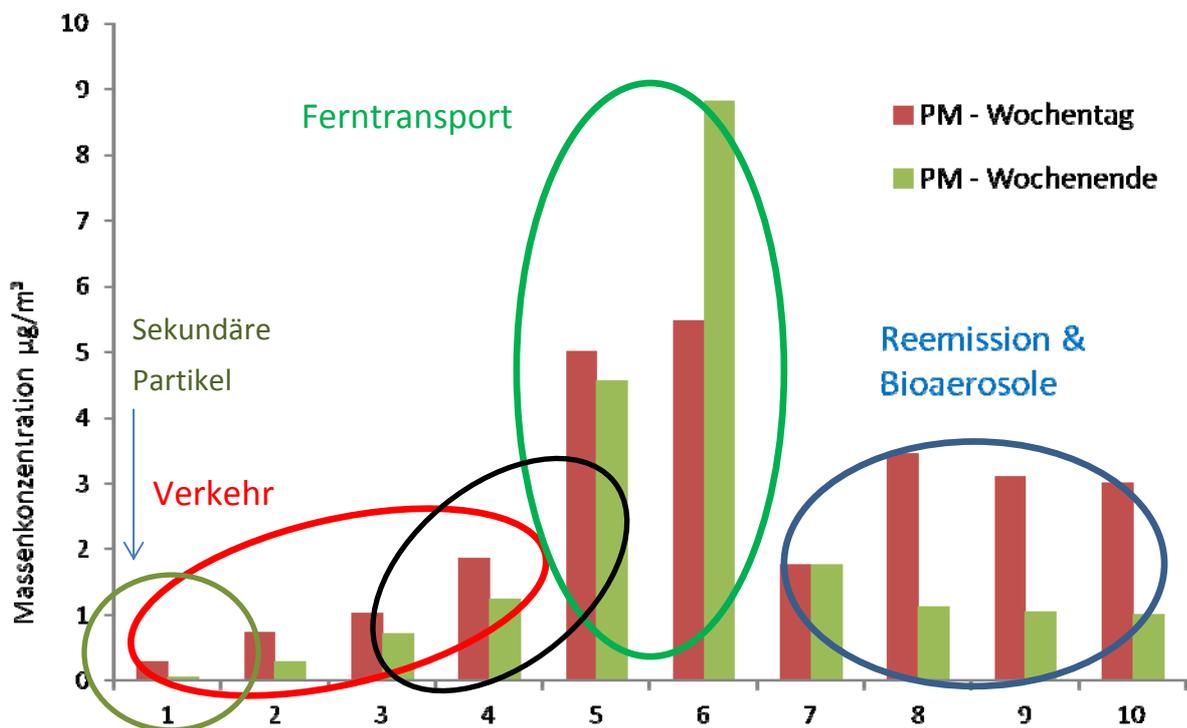


Abbildung 50: Partikelmasse für Wochenende und Wochentag und Zuordnung der Hauptquellen zu den Größenfraktionen des 10-stufigen Impaktors für je 2 Tagesmessungen in LEI im Herbst 2010

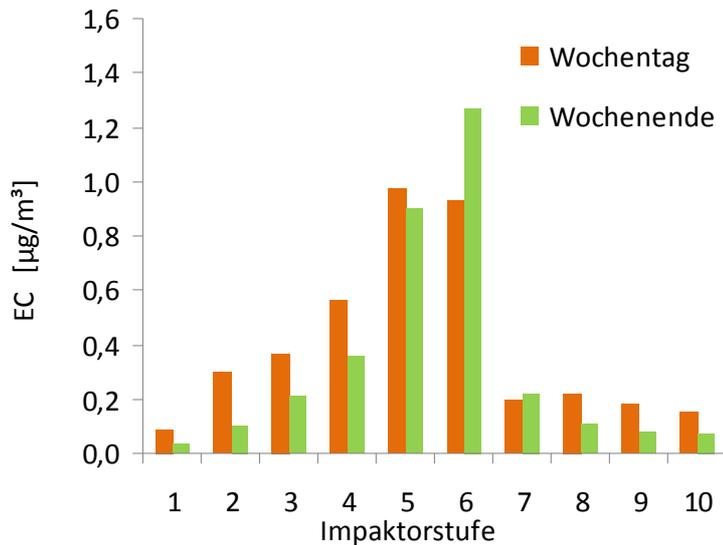


Abbildung 51: EC-Konzentration auf dem 10-stufigen Impaktor im Herbst 2010

Im Februar 2011 wurden die Impaktorprobenahmen in der Eisenbahnstraße (LEI) wieder aufgenommen, um zu verfolgen, ob sich die Einführung der Umweltzone auf die Zusammensetzung der Partikel auswirkt.

Im Februar fanden sechs Probenahmen von je 48 Stunden (=zwei Tage) statt. Tabelle 26 zeigt die gemittelten Massenkonzentrationen und die Hauptbestandteile für die einzelnen Größenfraktionen. In Abbildung 52 werden die Mittelwerte von vier Parametern grafisch verglichen. Sulfat und Nitrat zeigen im Winter vor allem in den Ferntransportfraktionen höhere Konzentrationen, während bei OC auffällt, dass im Herbst höhere Grobstaubanteile gefunden wurden (Pflanzen-Detritus) und auch bei den ultrafeinen Partikeln höhere Werte als im Winter gemessen wurden. Die Ferntransportfraktionen zeigen keine Unterschiede. Die EC-Werte der ultrafeinen und groben Partikel weisen vergleichbare Konzentrationen auf, während bei den Ferntransportpartikeln im Winter wiederum nur leicht erhöhte Konzentrationen gefunden wurden.

Tabelle 26: Mittelwerte für Masse und Inhaltsstoffe der Messung (N=6) mit dem 10-stufigen Impaktor in der Eisenbahnstraße (LEI) im Februar 2011

Fraktion µm	Massekonz. µg/m³	OC µg/m³	EC µg/m³	Nitrat µg/m³	Sulfat µg/m³	Ammonium µg/m³
0,015-0,03	0,163	0,032	0,056	0,012	0,014	0,007
0,03-0,06	0,612	0,069	0,204	0,073	0,085	0,058
0,06-0,125	1,355	0,132	0,396	0,221	0,233	0,158
0,125-0,25	2,593	0,236	0,691	0,558	0,569	0,358
0,25-0,5	5,047	0,338	0,987	1,087	0,946	0,612
0,5-1,0	10,243	0,501	1,476	1,766	1,476	0,904
1,0-2,0	3,804	0,152	0,324	0,421	0,326	0,169
2,0-4,0	2,411	0,081	0,082	0,204	0,062	0,011
4,0-8,0	1,816	0,080	0,086	0,069	0,033	0,009
8,0-16,0	1,541	0,080	0,061	0,029	0,023	0,002

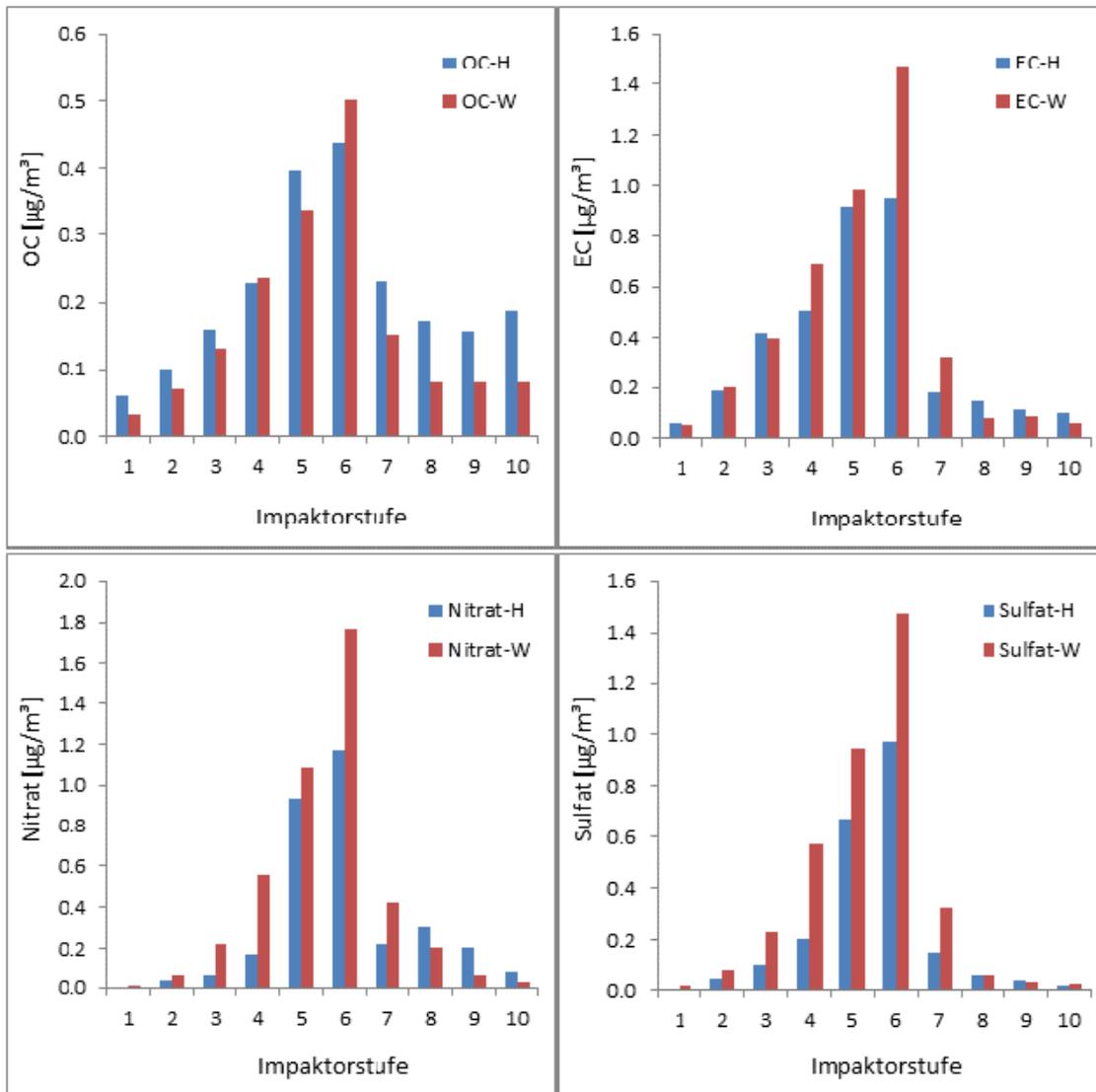


Abbildung 52: Vergleich der Mittelwerte der fünf Herbst- (H) mit den Mittelwerten der sechs Wintermessungen (W) in der Eisenbahnstraße (LEI) für die Komponenten Sulfat, Nitrat, EC und OC.

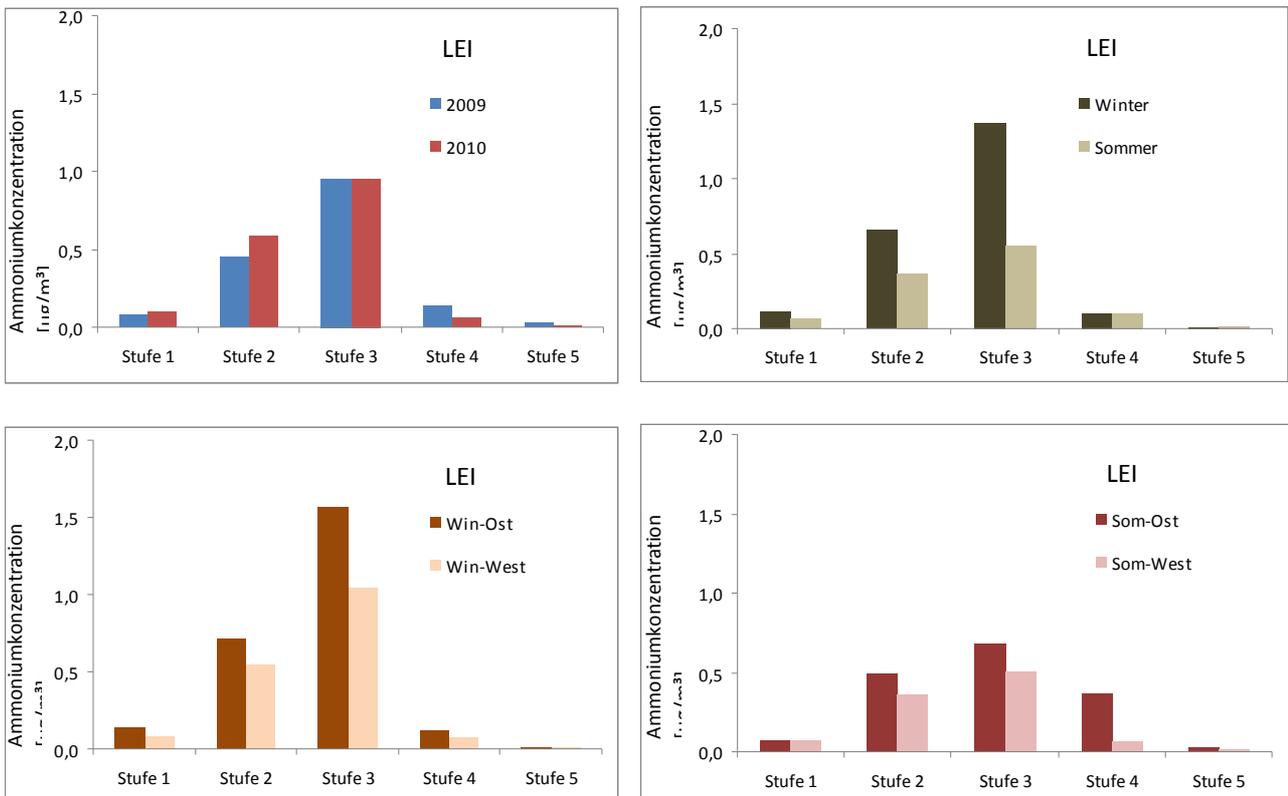
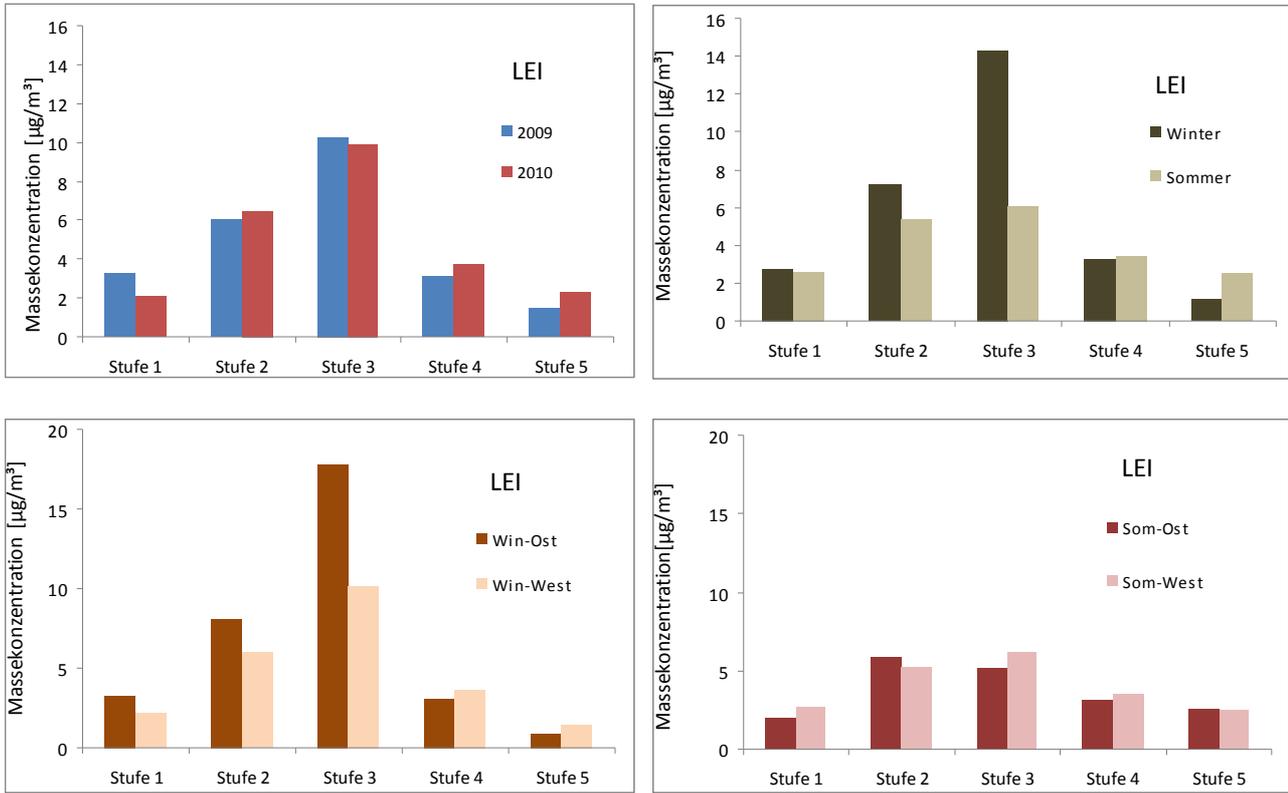
Ergebnisse mit dem 5-stufigen Impaktor

Mit dem 5-stufigen Impaktor konnte eine größere Anzahl von Proben (N=40) gewonnen werden. Vertiefende Auswertungen, wie z. B. in Abhängigkeit von der Anströmrichtung der Luftmassen sind somit möglich.

Bei den Partikelfractionen (Stufen 2 und 3), die vom Ferneintrag dominiert werden, gibt es klare Anhaltspunkte, dass vor allem der winterliche Transport aus Osteuropa erheblich höhere PM-Belastungen in Leipzig zur Folge hat, während im Sommer der Lokaleffekt der Stadt und ihres Umlandes dazu führt, dass nur eine geringe Abhängigkeit von der Luftmassenherkunft feststellbar ist. Dies entspricht auch den Ergebnissen der Untersuchungen des LfULG zum Einfluss des Ferneintrags auf die Anzahl der PM_{10} -Überschreitungstage. So wurden 16 % der Überschreitungstage 2009 und 48 % 2010 in Leipzig überwiegend durch Ferneintrag verursacht [Wolf et al., 2011]

Spekulation

Bei sechs Messungen im Februar 2011 wurden für die Stufen 1-3 des Impaktors (15 - 125 nm) Masseanteile von durchschnittlich 9 % an der Gesamtmasse festgestellt. Wenn man davon die Hälfte dem Verkehr zuordnet, kann an Tagen mit erhöhter Belastung (in der Nähe des EU-Grenzwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) mit einer Reduzierung um 2-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gerechnet werden, wenn alle Fahrzeuge eine grüne Plakette tragen und keinen Ruß mehr emittieren. Der Straßenverkehr und besonders der LKW-Verkehr trägt insgesamt in weitaus höherem Maße durch Aufwirbelung von Straßenstaub und Abrieb zur PM_{10} -Belastung in Straßennähe bei. Letzteres lässt sich allerdings durch Einführung von Umweltzonen nicht oder nur in geringem Maße verhindern.



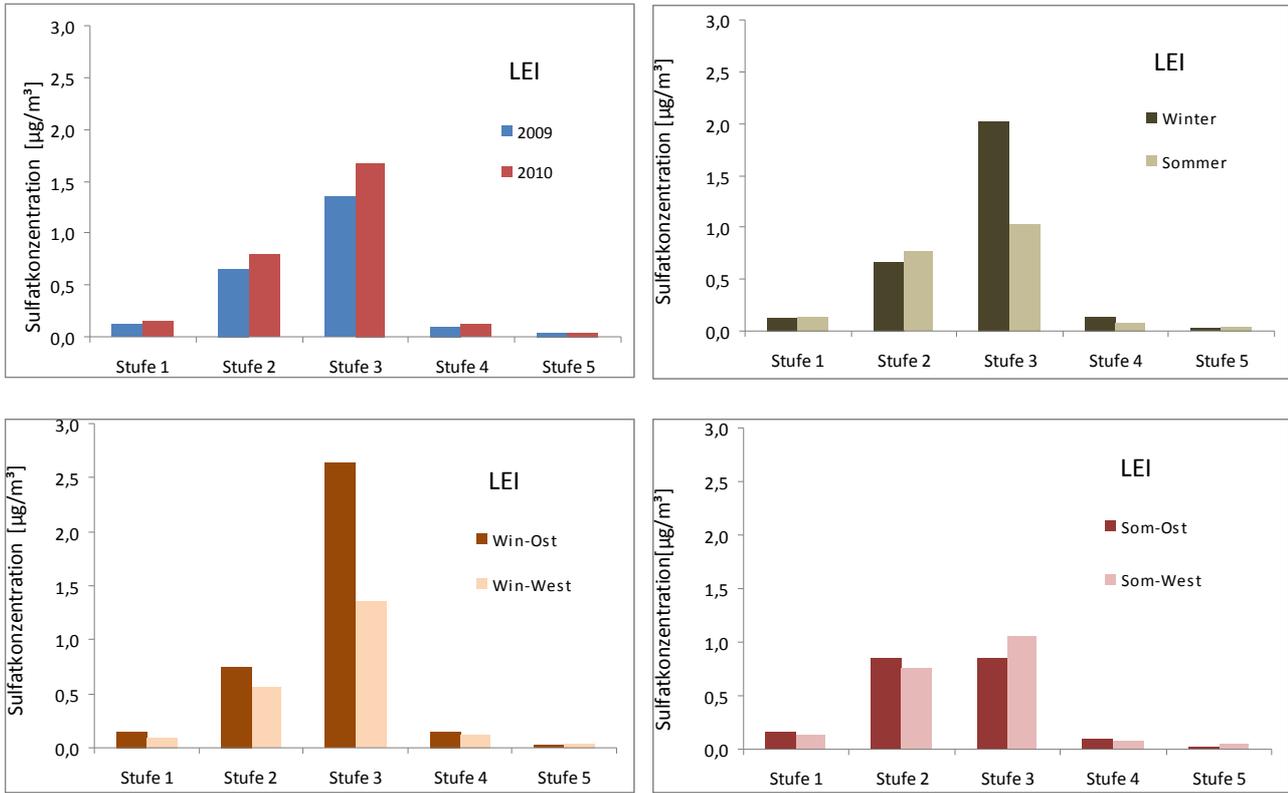


Abbildung 55: PM-Sulfatkonzentrationen der fünf Fraktionen nach Jahr (oben links), Saison (oben rechts) und saisonaler Anströmung (unten links: Sommer; unten rechts: Winter) an der Messstation LEI

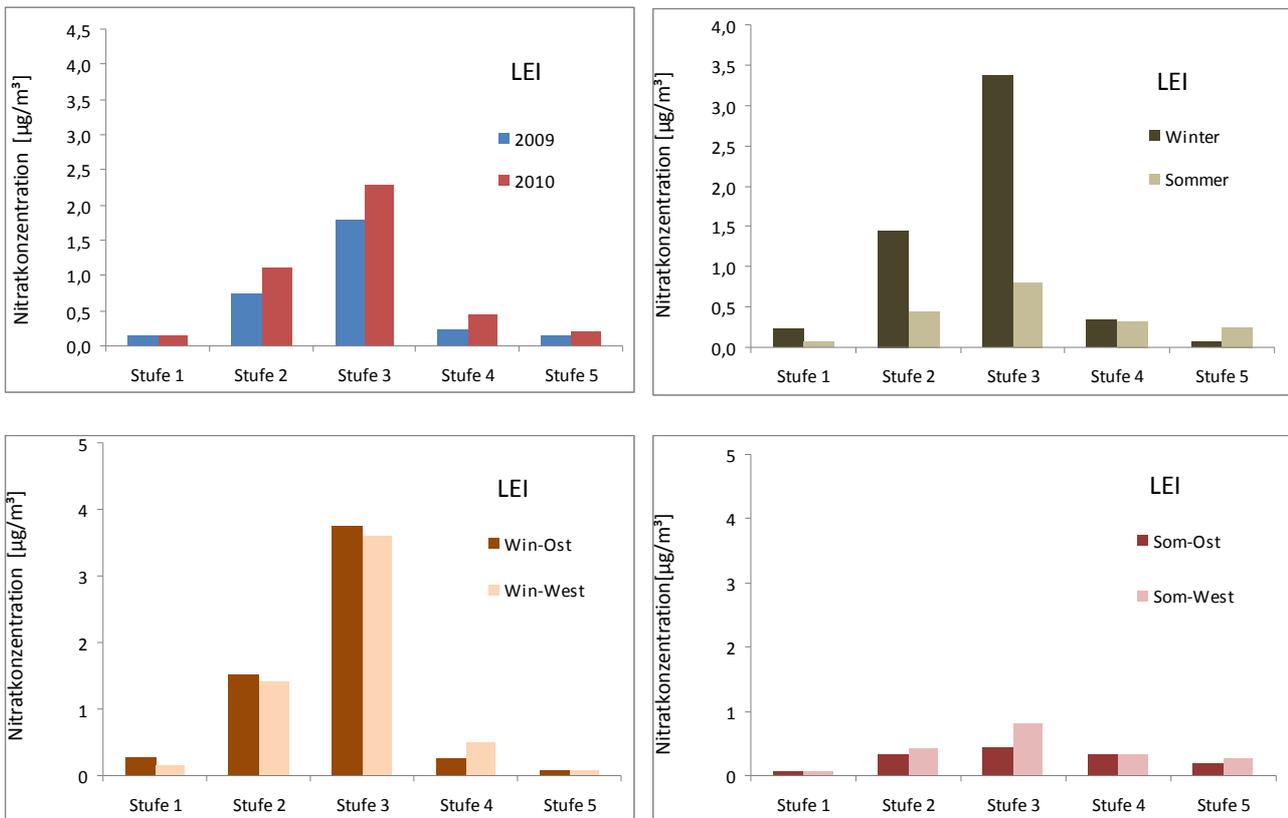
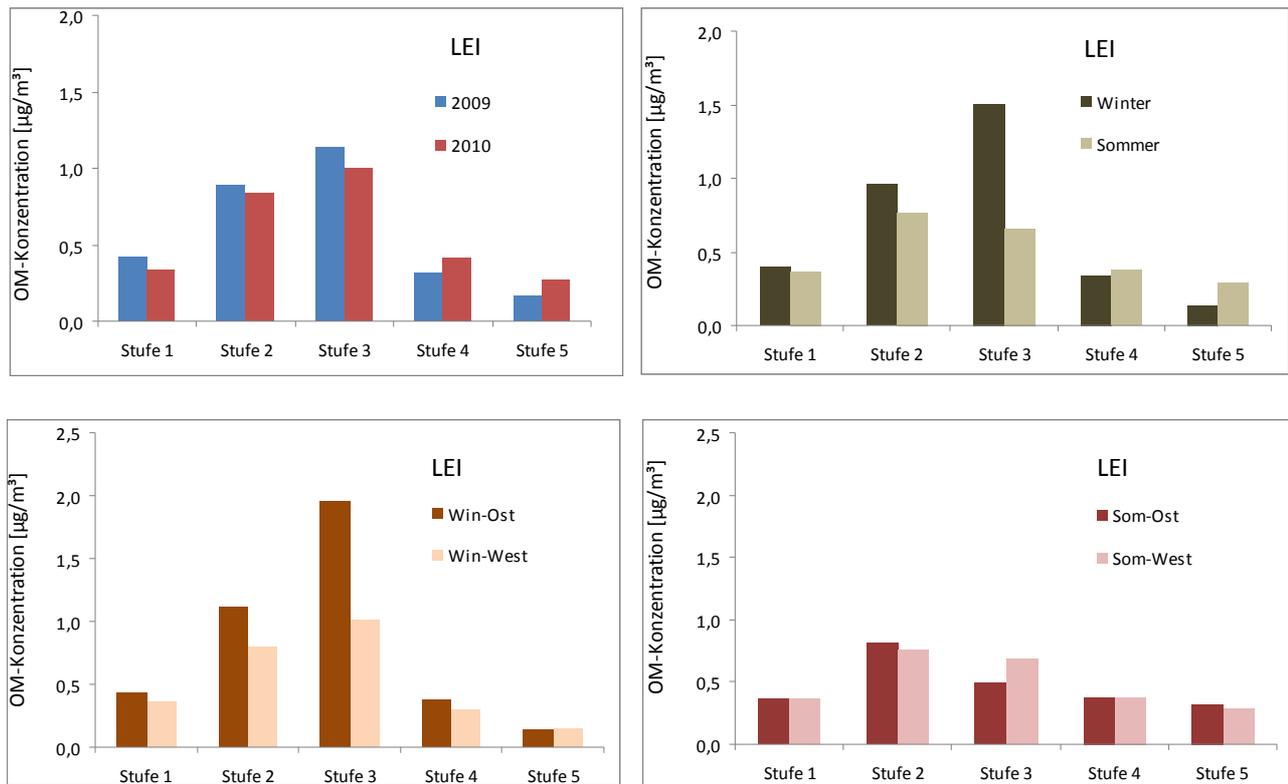
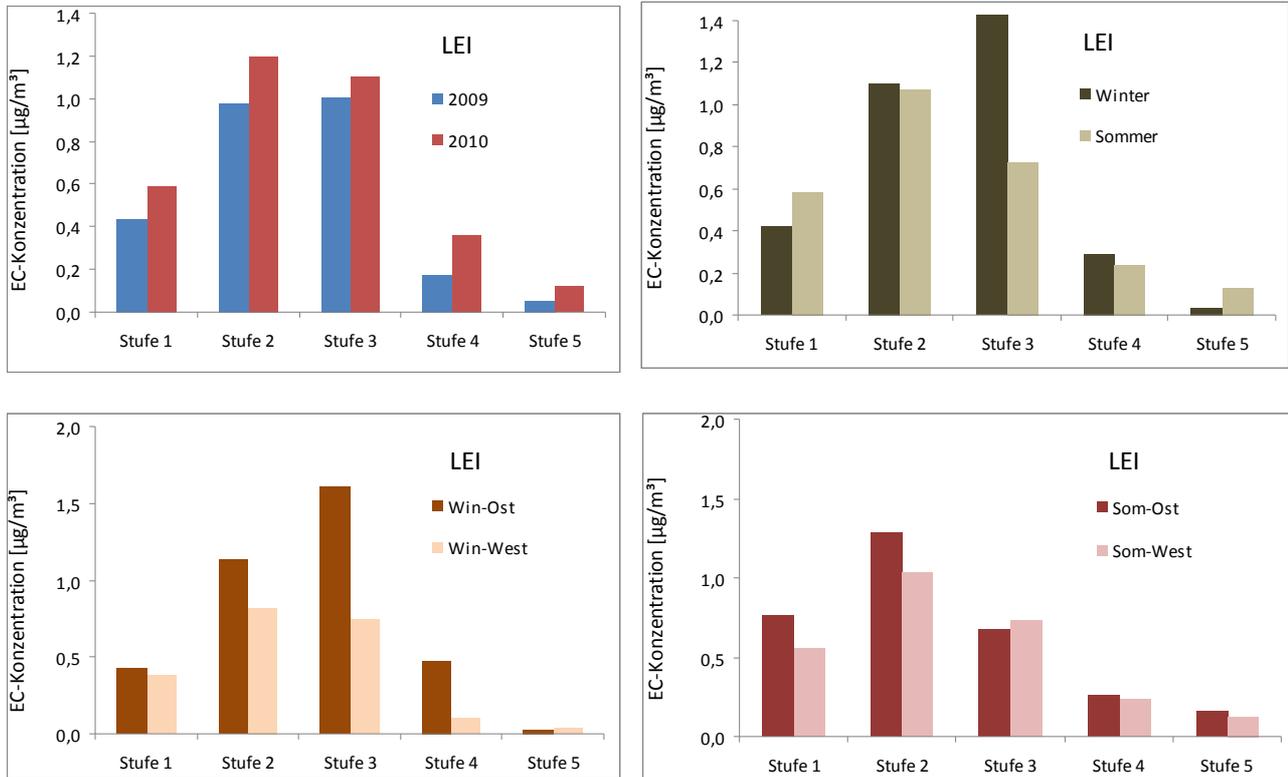


Abbildung 56: PM-Nitratkonzentrationen der fünf Fraktionen nach Jahr (oben links), Saison (oben rechts) und saisonaler Anströmung (unten links: Sommer; unten rechts: Winter) an der Messstation LEI



6 Zusammenfassung

Umweltzone, Gesundheit und Messkonzept

Luftreinhaltepläne werden für Gebiete aufgestellt, in denen Grenzwertüberschreitungen auftreten. Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität sind dort einzuleiten. Die Einführung einer Umweltzone ist eine von einer Vielzahl von Maßnahmen, um vorrangig die Feinstaubkonzentration PM_{10} zu reduzieren. Insbesondere ältere Diesel-Fahrzeuge ohne Partikelfilter tragen durch die Rußemission zu einem kleinen, aber sehr gesundheitsrelevanten Anteil im PM_{10} bei. Die Umweltzone verbietet die Einfahrt von Fahrzeugen mit hohen Partikelemissionen und führt deshalb zu einem großen Gesundheitsgewinn für die Bevölkerung.

Das LfULG und das IFT vereinbarten gemeinsame Messungen zur Beurteilung der Wirkung von Umweltzonen. Neben den gesetzlich vorgeschriebenen Messungen werden Sondermessungen für Ruß und Partikelanzahl durchgeführt, um eine vertiefende Beurteilung der Immissionsanteile von Verkehrsemissionen zu ermöglichen. Die gesammelten Messdaten werden in drei Berichten systematisch ausgewertet. In diesem ersten Bericht wurde die Luftqualität im Jahr 2010 für Dresden und Leipzig analysiert, um eine Ausgangsbeurteilung zu erstellen bevor die Umweltzone in Leipzig bzw. die in Dresden vorgesehenen anderen Maßnahmen im Jahr 2011 eingeführt wurden. Im zweiten und dritten Bericht über die Luftqualität in den Jahren 2011 und 2012 soll die Wirkung der o. g. Maßnahmen auf die Luftqualität dargestellt werden.

Das 2009 entworfene Messkonzept zu Begleitung der Umweltzonen in Sachsen sieht Messungen im regionalen Hintergrund Sachsens, im städtischen Hintergrund und an städtischen Straßen in Dresden und Leipzig vor. Wichtige Messgrößen zur Charakterisierung der Luftqualität im Messkonzept sind PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 , Ruß als EC (elementarer Kohlenstoff), Ruß als BC (schwarzer Kohlenstoff) und die Anzahlgrößenverteilung feiner und ultrafeiner Partikel sowie partikelgrößenaufgelöste Inhaltsstoffe. In diese Untersuchungen wurden 12 Messstationen in Sachsen einbezogen. Es sind für den regionalen Hintergrund die Messstationen Melpitz, Collm, Radebeul-Wahnsdorf und Schwartenberg, für den städtischen Hintergrund die Messstationen Leipzig-West, Leipzig-ift, Dresden-Winckelmannstraße und für die städtischen Straßen Leipzig-Mitte, Leipzig-Lützner Str., Leipzig-Eisenbahnstraße, Dresden-Nord und Dresden-Bergstraße.

Aus Kostengründen können nicht an allen Messstationen alle Messgrößen bestimmt werden.

Ergebnisse der Beurteilung der Luftqualität im Jahr 2010 vor der Einführung der Umweltzone

Die Grenzwerte für PM_{10} und NO_2 wurden an allen regionalen und städtischen Hintergrund-Messstationen in und um Leipzig und Dresden eingehalten. Probleme traten an Straßen mit viel Verkehr auf.

Überschreitungen des **PM_{10} -Tagesgrenzwertes** wurden an allen verkehrsnahen Messstationen des Luftgüte-Messnetzes in Leipzig und Dresden registriert. Die meteorologischen Bedingungen im Jahr 2010 begünstigten den Ferneintrag bereits hoch belasteter Luft nach Sachsen. Etwa 60 % der PM_{10} -Überschreitungstage wurden überwiegend vom Ferneintrag verursacht.

Der **Jahresmittelgrenzwert für NO_2** von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde mit Ausnahme von Dresden-Nord ebenfalls an allen verkehrsnahen Stationen überschritten.

Analyse des Immissionsanteils durch Verkehrsemissionen im Jahr 2010 vor der Einführung der Umweltzone

An den fünf kritischen verkehrsnahen Messstationen ergab die Auswertung der PM_{10} -Messdaten des Jahres 2010 einen PM_{10} -Immissionsanteil von 26 bis 34 % durch den Kfz-Verkehr. Dieser Immissionsanteil wird sowohl durch motorbedingte Emissionen als auch nicht motorbedingte Emissionen verursacht. Die nicht motorbedingten Emissionen entstehen durch Aufwirbelung von Bodestaub, Abriebe von Reifen, Bremsen und Fahrbahn der Fahrzeuge. Die motorbedingten Emissionen, d. h. die Auspuffemissionen der Fahrzeuge sollen durch die Umweltzone reduziert werden. Dieser motorbedingte Immissionsanteil besteht im Wesentlichen aus Rußpartikeln, die meist kleiner $0,2 \mu\text{m}$ sind und in sehr großer Anzahl emittiert werden. An der großen Oberfläche dieser Rußpartikel lagern sich toxische Produkte des Verbrennungsprozesses an. Diesem kleinen Feinstaubanteil wird eine erhebliche Gesundheitsrelevanz zugeschrieben.

Zur schwierigen Ermittlung dieses motorbedingten Immissionsanteils wurden verschiedene, z. T. unabhängige Verfahren herangezogen. Die absoluten und mittleren relativen Immissionsanteile durch Kfz-Motoremissionen an den fünf verkehrsnahen Messstellen in Dresden und Leipzig wurden abgeschätzt für:

■ Feinstaub PM ₁₀	2,4 bis 3,4 µg/m ³ (9 % PM ₁₀)
■ Feinstaub PM _{2,5}	1,5 bis 2,7 µg/m ³ (11 % PM _{2,5})
■ Ruß als EC	0,9 bis 2,2 µg/m ³ (37 % EC)
■ Ruß als BC	0,8 bis 1,9 µg/m ³ (42 % BC)
■ Partikelanzahl PN _{30-200nm}	2.600 bis 5.000 Partikeln pro cm ³ (42 % PN _{30-200nm})
■ Berechnete Partikelmasse PM _{30-200nm}	1,6 bis 3,1 µg/m ³ (41 % PM _{30-200nm})

Die Ergebnisse der verschiedenen Messverfahren sind nicht gleich, lassen aber die Größenordnung erkennen. Die Umrechnung der Ergebnisse in relative Immissionsanteile der einzelnen Messgrößen gibt Auskunft über die Empfindlichkeit des jeweiligen Messverfahrens gegenüber den motorbedingten Emissionen. Der kleine Prozentsatz von 9 % für PM₁₀ und 11 % für PM_{2,5} zeigt an, wie wenig empfindlich die Messgrößen PM₁₀ und PM_{2,5} gegenüber den motorbedingten Emissionen sind. Demgegenüber wird der gleiche Immissionsanteil durch die Messgrößen Ruß und Partikelanzahl mit 37 bis 42 % etwa 4-mal so empfindlich dargestellt. Die Messung von Ruß und Partikelanzahl sind damit besser geeignet, um Veränderungen der Luftqualität zu verfolgen, die durch Maßnahmen zur Verringerung der Motoremission entstehen.

Aus den Ergebnissen für die Massenkonzentrationen von PM₁₀, PM_{2,5}, Ruß als EC, Ruß als BC und berechneter PM_{30-200nm} wurde für jede verkehrsnahen Messstation ein Massenanteil für die lokalen motorbedingten Verkehrsemissionen abgeschätzt. Im Jahr 2010 waren es für Leipzig-Mitte 2,2 µg/m³, Leipzig-Lützner Str. 2,0 µg/m³, Leipzig-Eisenbahnstraße 1,5 µg/m³, Dresden-Nord 1,4 µg/m³ und Dresden-Bergstraße 2,4 µg/m³. Der Immissionsanteil lag damit im Bereich von 1,4 bis 2,4 µg/m³ an den verkehrsnahen Messstellen. Dieser Anteil entspricht 5 bis 8 % des PM₁₀-Jahresmittelwertes und gleichzeitig etwa 5 bis 10 PM₁₀-Überschreitungstagen pro Jahr. Inwieweit dieses Minderungspotential der Umweltzone zukünftig ausgeschöpft werden kann, hängt von den Ausnahmeregelungen und dem Befolgungsgrad zum Befahren der Umweltzone ab.

Zahlreiche vertiefende Untersuchungen und Auswertungen, wie Vergleich von Wochenmittelwerten, mittlerem Tagesgang und Verursacheranalyse wurden für das Jahr 2010 durchgeführt und die Ergebnisse dargestellt. Auch Datenanalysen, die sich bewusst auf das Sommerhalbjahr beschränken und dadurch winterspezifische Emissionen und Wetterlagen meiden, sind aufgeführt. Diese systematischen Untersuchungen sollen in den Folgejahren fortgesetzt werden. Wichtige Ergebnisse in Bezug auf die Wirkung der Umweltzone werden erwartet. Völlig neu ist dabei die Beurteilung der Wirkung einer Umweltzone mit der Partikelanzahl als Ergänzung zu den partikelmassebezogenen Messverfahren. Im gewählten Partikelgrößenbereich von 30 bis 200 nm liegen die direkten Motoremissionen der Fahrzeuge. Die Beschränkung auf die Bewertung von Partikelgrößen kleiner 200 nm minimiert Ferneintrageffekte und konzentriert sich mehr auf die lokalen Quellen.

Was wäre wenn Leipzig und Dresden bereits im Jahr 2010 eine Umweltzone mit Stufe grün eingeführt hätten?

Die Messungen und die darauf aufbauenden Analysen zeigten, dass im Jahr 2010 in Dresden der PM₁₀-Grenzwert an allen verkehrsnahen Messstationen mit einer konsequenten Umweltzone hätte sicher eingehalten werden können. In Leipzig an der Messstation Leipzig-Mitte wäre eine PM₁₀-Grenzwerteinhaltung ebenfalls möglich gewesen. Demgegenüber wäre das Minderungspotential durch eine Umweltzone als alleinige Maßnahme auf der Lützner Straße in Leipzig nicht ausreichend gewesen, um eine PM₁₀-Grenzwertüberschreitung zu verhindern.

Das Minderungspotenzial durch eine Umweltzone wäre am Messort Dresden-Bergstraße am größten gewesen.

Einfluss der Meteorologie auf den PM₁₀-Jahresmittelwert

Die Ergebnisse von vier Langzeitmessreihen im regionalen Hintergrund zeigen, dass die PM₁₀-Jahresmittelwerte für den Zeitraum von 1999 bis 2010 in Sachsen stagnierten. Die Schwankung der PM₁₀-Jahresmittelwerte durch die meteorologischen Rahmenbedingungen wurden für diesen Zeitraum mit +/-16 % ermittelt. Die mögliche Schwankung der PM₁₀-Jahresmittelwerte durch die Meteorologie ist damit mehrfach größer als das Reduzierungspotenzial durch eine Umweltzonen in Sachsen. Diese Randbedingung muss bei der Interpretation der jährlichen PM₁₀-Feinstaubwerte beachtet werden. Trotz hochpräziser PM₁₀-Messungen werden erst nach einem längeren Mittlungszeitraum (mindestens 5 Jahre) gesicherte PM₁₀-Minderungen die Wirkung der Umweltzone nachweisen können.

Danksagung

Der Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) in Radebeul, dem Geschäftsbereich „Luftmessnetz“ unter Leitung von Dr. Horst-Günter Kath und seinen Mitarbeitern Frank Rothe, Uwe Müller, Klemens Regir und Beate Schimmel wird für die präzise Durchführung aller Messungen gedankt. Unser Dank gilt den Mitarbeitern Kay Weinhold und André Sonntag sowie der Studentin Anja Müller vom IfT für die Qualitätssicherung der Sondermessungen und die Datenvalidierung. Weiterhin gilt unser Dank Nadeshda Hilgenberg für das Anpassen des Berichtes an die Formatvorlage.

7 Literatur

- ACEA, 1999 ACEA PM Programm.1999
- Auspurg, 2011 Auspurg: Stadtverwaltung Leipzig. Persönliche Mitteilung. 2011
- Bastian, 2012 Bastian, Susanne: Ultrafine particles - Cooperating with environmental and health policy. UFIREG. Ultrafine Particles – an evidence based contribution to the development of regional and European environmental and health policy. <http://www.ufireg-central.eu/>
- BImSchV, 2010 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) vom 2. August 2010 (BGBl. S. 1065)
- Birmili, 1998 Birmili, W., Stratmann, F. and Wiedensohler, A. (1998). Design of a DMA-based Size Spectrometer for a large particle size range and stable Operation. *Journal of Aerosol Science*, 30:549-553
- Birmili, 2006 Birmili, W., Wehner, B., Tuch, T., Nowak, A., Franck, U., Pitz, M., Heinrich, J., Cyrys, J., Kreyling, W., Peters, A., Wichmann, E.: Räumlich-zeitliche Verteilung, Eigenschaften und Verhalten ultrafeiner Aerosolpartikel (<100nm) in der Atmosphäre, sowie die Entwicklung von Empfehlungen zu ihrer systematischen Überwachung in Deutschland. Leibniz - Institut für Troposphärenforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes. ISSN 1862-4804. 2008
- Birmili, 2012 Birmili, W., K. Weinhold, S. Nordmann, L. Tomsche, A. Wiedensohler; B. Heese, A. Skupin, G. Spindler, K. Müller, H. Herrmann, R. Wolke, G. Löschau, H. Wille (2012), The atmospheric pollution episode in Central Europe in January 2010: Aerosol characteristics and legal implications, Artikel in Vorbereitung, Einreichung geplant bei Atmospheric Chemistry and Physics.
- Draheim, 2011 Draheim, T (2011) Variabilität der PM₁₀- und PM_{2,5}-Außenluftkonzentration in Mecklenburg-Vorpommern. Vortrag auf dem 46. Messnetztechnischen Kolloquium (MTK), Schwerin, 30. Mai bis 1. Juni 2011, persönliche Mitteilung.
- Dresden, 2011 Luftreinhalteplan für die Landeshauptstadt Dresden. Hrsg.: Landeshauptstadt Dresden, Wirtschaft und Umweltamt.17. Mai 2011.
- EMEP, 2009 EMEP: Transboundary particulate matter in Europe Status report 2009 NILU Reference: O-98134. ISSN 1504-6192 Contributors: Yttri, K.-E., Aas, W., Tørseth, K., Stebel, K., Tsyro, S., Simpson, D., Merckova, K., Wankmüller, R., Zbigniew, K., Bergström, R., Denier van der Gon, H. Holzer-Popp, T., and Schroedter-Homscheidt, M. (<http://tarantula.nilu.no/projects/ccc/reports/emep4-2009.pdf>).
- EU-RL, 1996 Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 21.11.1996, L296
- EU-RL, 1999 Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L163 S. 41.
- EU-RL, 2000 Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 13.12.2000, L 313
- EU-RL, 2002 Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 9.3.2002, L 67/14 bis L 67/30
- EU-RL, 2004 Richtlinie 2004/107/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Dezember 2004 über Arsen, Kadmium, Quecksilber, Nickel und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in der Luft. Amtsblatt der Europäischen Union vom 26.1.2005, L 23/3 bis L 23/16
- EU-RL, 2008 Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa vom 21. Mai 2008. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L S. 152.
- Gerwig, 2004 H. Gerwig: Korngrößendifferenzierte Feinstaubbelastung in Straßennähe in Ballungsgebieten Sachsens. Eigenforschungsprojekt des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. Dresden 2004
- Gnauk, 2012 Gnauk, T., Müller, K., Brüggemann, E., Birmili, W., Weinhold, K., van Pinxteren, D., Löschau, G., Spindler, G., Herrmann, H.: A study to discriminate local, urban and regional source contributions to the particulate matter concentrations in the city of Dresden, Germany. *Journal Atmospheric Chemistry*, DOI 10.1007/s10874-012-9216-7 published online: 26 Februar 2012
- Hausmann, 2010 Hausmann, A.: Holzkleinfeuerungsanlagen in Sachsen Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dresden 2010, Schriftenreihe Heft 17/2010 http://jaguar.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/4822_4.pdf
- Herrmann, 2000 E. Brüggemann, U. Franck, T. Gnauk, H. Herrmann, K. Müller, W. Birmili, Ch. Neusüß, a. Plewka, G. Sindler, H.-J. Stärk und R. Wennrich: Korngrößendifferenzierte Identifikation der Anteile verschiedener Quellgruppen an der Feinstaubbelastung“. Leibniz - Institut für Troposphärenforschung im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. 2000
- Herrmann, 2008a E. Brüggemann, T. Gnauk, H. Herrmann, K. Müller, W. Birmili, C. Engler, K. Weinhold, A. Wiedensohler: Einfluss des Ferneintrages auf die Feinstaubbelastung im Ballungsraum“ Leibniz - Institut für Troposphärenforschung im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. 2008 http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/3_Abschlussbericht.pdf
- Herrmann, 2008b Wolfram Birmili, Erika Brüggemann, Thomas Gnauk, Hartmut Herrmann, Yoshiteru Iinuma, Konrad Müller, Laurent Poulain, Kay Weinhold, Alfred Wiedensohler: Einfluss kleiner Holzfeuerungen auf die Immissionsituation – Teil Immissions-

- messung. Leibniz - Institut für Troposphärenforschung im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie. 2008
- KBA, 2011 Statistik des Kraftfahrzeugbundesamt. <http://www.kba.de>
- Kuhlbusch, 2011 T.A.J. Kuhlbusch, A. John, G. Fuller: Rußmessung: Quellendifferenzierung basierend auf thermischen und optischen Verfahren. KRdL-Expertenforum. 27. Oktober 2011, Bonn.
- Kühne, 2009 M. Kühne, E. Reimer, L. Schaefer: Immissionsklimatologischer Versuch einer Normierung meteorologischer Auswirkungen auf die Kenngrößen der PM₁₀-Feinstaubbelastung für ein Kalenderjahr. Immissionsschutz 2009.
- Leipzig, 2005 Luftreinhalteplan für die Stadt Leipzig. Hrsg.: Landesamt für Umwelt und Geologie. 15. September 2005.
- Leipzig, 2009 Luftreinhalteplan für die Stadt Leipzig. Hrsg.: Stadt Leipzig. Der Oberbürgermeister. Amt für Umweltschutz. 18. Dezember 2009.
- Lenschow, 2001 Lenschow, P., Abraham, H.-J., Kutzner, K., Lutz, M. Preuß, J.-D., Reichenbacher, W.: Some ideas about the sources of PM₁₀. *Atmospheric Environment*, 35 (Supplement No. 1), S23-S33. 2001
- LfULG, 2010 Luftqualität in Sachsen. Jahresbericht 2009. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dresden 2010. http://www.umwelt.sachsen.de/ffl/publikationen/download/4822_4.pdf
- LfULG, 2011a Luftqualität in Sachsen. Jahresbericht 2010. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Mai 2011. <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/luft/index.asp>
- LfULG, 2011b Luftqualität in Sachsen. Aktuelle Messwerte. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/luft/3654.htm>
- Löschau, 2006 G. Löschau: Partikelanzahl in verkehrsnaher Außenluft – Teil 2: Einfluss der Meteorologie und erste Ursachenanalyse. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 66 (2006) Nr. 11/12, S. 483-488
- Löschau, 2011a G. Löschau, W. Birmili, C. Engler, K. Weinhold, T. Gnauk, E. Brüggemann, K. Müller, H. Herrmann, A. Wiedensohler: Messung der Anzahl von ultrafeinen Partikeln in der Außenluft in einem Luftgütemessnetz – Teil 3: Räumliche Variation der Partikelkonzentration sowie deren Hauptverursacher. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 71 (2011) Nr. 1/2, S. 57-63
- Löschau, 2011b Gunter Löschau: Ultrafeine Partikel – Messergebnisse und deren Nutzung. Statusseminar zur Luftqualität in Sachsen. Veranstalter: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. 12. Dezember 2011. Dresden. <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/27341.htm>
- Nagel, 2011 Stadtverwaltung Dresden. Bezug über Herrn Nagel
- Poulain, 2011 Poulain, L., Iinuma, Y., Müller, K., Birmili, W., Weinhold, K., Brüggemann, E., Gnauk, T., Hausmann, A., Löschau, G., Wiedensohler, A., Herrmann, H.: Diurnal variations of ambient particulate wood burning emissions and their contribution to the concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Seiffen, Germany. *Atmospheric Chemistry and Physics* 11, 12697-12713, 2011
- Rasch, 2011 F. Rasch: Verkehrsbedingte Effekte auf die Feinstaubbelastung in der Stadt Leipzig. Diplomarbeit im Fach Meteorologie. 17. Juli 2011, Leipzig
- Schladitz, 2012 Schladitz, Alexander: UltraSchwarz. Ultrafeinstaub und Gesundheit im Erzgebirgskreis und Region Usti. <http://www.ultraschwarz-ziel3.de/>
- Spindler, 2010a Spindler, G., Brüggemann, E., Gnauk, T., Grüner, A., Müller, K., Herrmann, H.: A four-year size-segregated characterization study of particles PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ depending on air mass origin at Melpitz. *Atmospheric Environment*, 44, 164-173, 2010
- Spindler, 2010b G. Spindler, Persönliche Mitteilungen. Juli 2010
- UBA, 2010 Umweltbundesamt: <http://www.umweltbundesamt-daten-zur-umwelt.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do?ident=21847>
- UBA, 2012 Wolfram Birmili, Konrad Müller, Kay Weinhold, Stephan Nordmann, Alfred Wiedensohler, Gerald Spindler, Thomas Gnauk, Laurent Poulain, Hartmut Herrmann, Regina Rückel, Mike Pitz, Josef Cyrus, Annette Peters, Harald Flentje, Frank Meinhardt, Ludwig Ries, Andreas Schwerin, Klaus Wirtz: Erfassung der Zahl feiner und ultrafeiner Partikel in der Außenluft Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Förderkennzeichen (UFOPLAN) 3703 43 200 Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V., Leipzig im Auftrag des UMWELTBUNDESAMTES. Entwurf 2012.
- Westphal, 2011 Westphal, M.; Hausmann, A.; Löschau, G.; Pausch, A. & Wolf, U. (2011): Leitfaden Luftreinhaltepläne in Sachsen, Schriftenreihe Heft 30/2011 des LfULG, http://www.smul.sachsen.de/ffl/publikationen/download/5217_1.pdf.
- WHO, 2005 WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide - Global update 2005 - Summary of risk assessment
- Wichmann, 2008 Wichmann, H-E.: *Umweltmed Forschung Prax* 13(1) 7 – 10 (2008)
- Wichmann, 2011 Wichmann, H-E.: Umweltzonen aus der Sicht des Gesundheitsschutzes. Pressekonferenz Deutsche Umwelthilfe 7.4.2011 Berlin.
- Wiedensohler, 2011 Alfred Wiedensohler: Persönliche Mitteilung. September 2011
- Wiedensohler, 2012 A. Wiedensohler, W. Birmili, A. Nowak, A. Sonntag, K. Weinhold, M. Merkel, B. Wehner, T. Tuch, S. Pfeifer, M. Fiebig, A. M. Fjåraa, E. Asmi, K. Sellegri, R. Depuy, H. Venzac, P. Villani, P. Laj, P. Aalto, J. A. Ogren, E. Swietlicki, P. Williams, P. Roldin, P. Quincey, C. Hüglin, R. Fierz-Schmidhauser, M. Gysel, E. Weingartner, F. Riccobono, S. Santos, C. Grüning, K. Faloon, D. Beddows, R. Harrison, C. Monahan, S. G. Jennings, C. D. O'Dowd, A. Marinoni, H.-G. Horn, L. Keck, J. Jiang, J. Scheckman, P. H. McMurry, Z. Deng, C. S. Zhao, M. Moerman, B. Henzing, G. de Leeuw, G. Löschau, and S. Bastian: Mobility particle size spectrometers: harmonization of technical standards and data structure to facilitate high quality long-

term observations of atmospheric particle number size distributions. Atmos. Meas. Tech., 5, 657–685, 29 March 2012.

<http://www.atmos-meas-tech.net/5/657/2012/amt-5-657-2012.html>

WMO, 2012

WMO-EPA (USA). <http://www.marble.asrc.cestm.albany.edu/qasac/>.

Wolf, 2011

Wolf, U.; Küchler, W. & Mellenthin, U. (2011): Klassifikation der Überschreitungstage; Hrsg.: LfULG,

http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/luft/Fachbeitrag_Klassifikation_2011b.pdf.

Anlage 1: Datenqualität

Tabelle 27: Datenverfügbarkeit für Tagesmittelwerte 2010

	Städtische Straße					Städtischer Hintergr.			Regionaler Hintergrund				Bemerkungen zur Einsatzzeit
	DDN	DDB	LMI	LLÜ	LEI	DDW	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD	
PM₁₀	100%	99%	99%	98%		100%	100%		95%	99%	99%	100%	
PM_{2,5}	99%	99%	97%			98%	97%		95%	99%			
EC	17%	17%	17%	17%		17%	17%		95%	16%		17%	MEL jeden Tag Probenahme, sonst alle 6 Tage
BC	99%		50%		95%		48%	98%	98%				LMI, LWE: Messbeginn erst am 1.7.2010
PN_{30-200nm}	72%		41%		99%		48%	97%	91%				LMI, LWE: Messbeginn erst am 1.7.2010
NO₂/NO_x	99%	97%	99%	99%		98%	98%		99%	99%		99%	
Kfz-Anzahl	74%	97%	88%	100%									

Grau unterlegte Felder = keine Messung

Tabelle 28: Messunsicherheit und Vergleichbarkeit der Daten

	Messunsicherheit für Jahresmittelwert	Vergleichbarkeit für Jahresmittelwert	Bemerkungen und Grundlage zur Abschätzung
PM₁₀	10%	5%*	HVS-Filtersammlung mit Laborgravimetrie, BfUL Vergleichsmessungen, STIMES Vergleichsmessung
PM_{2,5}	10%	5%*	HVS-Filtersammlung mit Laborgravimetrie, BfUL Vergleichsmessungen, STIMES Vergleichsmessung
EC	20 %	10%*	Messung jeden 6. Tag, aber zeitlich synchron an allen Messstationen*
BC	-	20 %	Ermittelt aus mehreren Vergleichsmessungen (10 %) am WCCAP, Zuschlag von 10 % für verschiedene Vorabscheider (PM ₁ , PM ₁₀)
PN_{30-200nm}	20 %	15 %	Jährliche Vergleichsmessung am WCCAP und Round-Robin-Test mit Referenz-SMPS aller 3 Monate durch WCCAP (10 % im Labor, 15 % im Feld)
NO₂/NO_x	10 %	5%*	Tägliche Funktionskontrolle, Transferprüfung alle 3 Monate, STIMES-Ringversuche

* für die Messstationen im Sächsischen Lüftgüte-Messnetz (DDN, DDB, LMI, LLÜ, DDW, LWE, COL, SWB, RWD)

Anlage 2: Statistik der Tagesmittelwerte

1. Routinemessungen

Tabelle 29: Statistik für PM10 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Stationstyp	Städtische Straße					Städtischer Hintergrund			Regionaler Hintergrund			
Messstation	DDN	DDB	LMI	LLÜ	LEI	DDW	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD
Verfügbarkeit	100%	99%	99%	98%		100%	100%		95%	99%	99%	100%
Jahresmittelwert	29,6	31,3	31,7	33,2		22,1	21,4		23,4	18,5	15,1	21,0
Standardabw.	19	20	19	21		17	17		17	16	11	17
Relative Stand.	65%	63%	61%	63%		78%	78%		73%	88%	74%	80%
Maximum	183	187	143	163		158	133		137	137	76	160
98-Perzentil	79	83	96	92		65	69		73	58	47	63
90-Perzentil	51	52	53	58		41	40		39	33	28	37
75-Perzentil	35	36	39	38		27	25		26	22	20	25
50-Perzentil	25	27	27	28		18	17		19	15	13	17
25-Perzentil	18	21	20	21		12	11		14	9	7	11
10-Perzentil	14	15	13	15		8	8		11	6	4	7
2-Perzentil	9	9	9	8		4	5		7	3	2	4
Minimum	3	6	3	4		3	3		6	0	0	0
Sommer	22,7	24,6	27,9	26,6		15,7	15,4		17,9	13,3	12,5	15,2
Winter	36,6	38,1	35,7	40,1		28,5	27,5		28,4	23,7	17,8	26,9

Tabelle 30: Statistik für PM2.5 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Stationstyp	Städtische Straße					Städtischer Hintergrund			Regionaler Hintergrund			
Messstation	DDN	DDB	LMI	LLÜ	LEI	DDW	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD
Verfügbarkeit	99%	99%	97%			98%	97%		95%	99%		
Jahresmittelwert	19,2	20,9	22,1			17,8	15,8		19,3	13,7		
Standardabw.	16	16	16			16	15		16	14		
Relative Stand.	81%	74%	74%			91%	92%		81%	106%		
Maximum	138	133	121			136	107		119	116		
98-Perzentil	65	63	70			62	62		61	51		
90-Perzentil	36	38	41			36	33		36	28		
75-Perzentil	22	25	26			22	18		22	16		
50-Perzentil	15	16	18			13	11		15	9		
25-Perzentil	10	12	12			8	7		10	5		
10-Perzentil	8	8	9			5	5		8	4		
2-Perzentil	5	6	6			3	3		6	2		
Minimum	3	4	4			2	2		3	0		
Sommer	12,9	14,9	16,7			11,0	9,8		13,1	8,2		
Winter	25,8	27,1	27,5			24,6	21,7		25,0	19,2		

Tabelle 31: Statistik für NO₂ in µg/m³

Stationstyp	Städtische Straße					Städt. Hintergrund			Regionaler Hintergrund			
Messstation	DDN	DDB	LMI	LLÜ	LEI	DDW	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD
Verfügbarkeit	99%	97%	99%	99%		98%	98%		99%	99%		99%
JMW	39	50	48	45		23	21		11	13		17
Stabw	11	16	13	15		10	10		7	7		10
Rel.St.	28%	32%	28%	34%		45%	48%		61%	59%		58%
Maximum	72	103	91	102		65	66		43	49		62
98-Perzentil	64	87	77	79		50	51		35	33		45
90-Perzentil	53	71	67	65		38	35		19	23		31
75-Perzentil	47	59	58	55		28	25		13	15		19
50-Perzentil	39	49	48	43		20	19		9	10		14
25-Perzentil	31	38	39	34		16	14		7	7		10
10-Perzentil	25	30	32	26		12	12		6	6		8
2-Perzentil	20	22	23	18		10	9		5	5		6
Minimum	15	16	19	12		7	7		3	4		5
Sommer	37	48	47	41		19	17		8	9		12
Winter	42	52	50	48		28	26		14	16		22

Tabelle 32: Statistik für NO_x in µg/m³

Stationstyp	Städtische Straße					Städt. Hintergrund			Regionaler Hintergrund			
Messstation	DDN	DDB	LMI	LLÜ	LEI	DDW	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD
Verfügbarkeit	99%	97%	99%	99%		98%	98%		99%	99%		99%
JMW	78	152	123	99		30	27		14	15		20
Stabw	34	68	46	47		21	17		9	8		14
Rel.St.	43%	45%	37%	48%		70%	63%		63%	56%		67%
Maximum	235	529	317	278		208	130		65	56		103
98-Perzentil	163	325	231	203		92	86		48	39		58
90-Perzentil	121	241	187	169		56	45		24	25		38
75-Perzentil	98	188	150	119		34	30		16	17		22
50-Perzentil	74	143	117	92		24	22		11	11		16
25-Perzentil	53	101	93	66		18	17		9	9		12
10-Perzentil	40	76	71	44		14	14		8	8		10
2-Perzentil	31	51	49	32		11	10		6	7		8
Minimum	24	35	34	18		8	9		4	6		6
Sommer	71	144	118	88		23	20		10	11		14
Winter	85	159	129	111		38	34		18	18		26

2. Sondermessungen

Tabelle 33: Statistik für die Anzahl der Kraftfahrzeuge als SV oder PKW pro Tag

Stationstyp	Städtische Straße							
	DDN		DDB		LMI		LLÜ	
	SV	PKW	SV	PKW	SV	PKW	SV	PKW
Verfügbarkeit	74%	74%	97%	97%	88%	88%	100%	100%
Jahresmittelwert	1.257	34.984	987	24.201	1.481	41.969	813	22.255
Standardabw.	527	7.218	427	5.132	578	7.807	352	3.949
Relative Stand.	42%	21%	43%	21%	39%	19%	43%	18%
Maximum	1.985	45.093	1.671	32.095	2.434	54.953	1.321	28.848
98-Perzentil	1.903	43.682	1.582	30.828	2.249	52.385	1.237	26.984
90-Perzentil	1.809	41.694	1.457	28.830	2.068	49.969	1.139	25.884
75-Perzentil	1.701	40.259	1.327	27.886	1.907	47.561	1.078	24.997
50-Perzentil	1.407	38.023	1.121	26.253	1.682	44.817	986	23.592
25-Perzentil	714	28.928	522	20.747	972	37.756	445	20.691
10-Perzentil	423	23.841	325	15.774	486	29.558	207	15.032
2-Perzentil	334	18.193	264	12.744	347	23.572	161	13.016
Minimum	265	9.323	233	9.300	316	17.016	137	10.062
Sommer	1.399	36.291	1.085	24.914	1.537	42.699	871	22.917
Winter	1.188	34.342	883	23.451	1.430	41.304	754	21.578

Tabelle 34: Statistik für die EC_{PM10} in $\mu g/m^3$

Stationstyp	Städtische Straße					Städtischer Hintergrund			Regionaler Hintergrund			
	DDN	DDB	LMI	LLÜ	LEI	DDW	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD
Verfügbarkeit	17%	17%	17%	17%		17%	17%		95%	16%		17%
Jahresmittelwert	3,08	4,53	3,43	3,57		2,27	1,96		1,60	1,58		1,84
Standardabw.	1,9	2,8	1,9	1,8		2,2	1,7		2,6	1,9		1,9
Relative Stand.	63%	61%	55%	51%		95%	85%		165%	122%		102%
Maximum									22,7			
98-Perzentil									11,6			
90-Perzentil									2,5			
75-Perzentil	3,7	5,5	4,1	4,5		2,5	2,2		1,5	1,6		2,0
50-Perzentil	2,7	4,0	3,1	3,2		1,7	1,5		1,0	1,0		1,5
25-Perzentil	2,1	3,0	2,4	2,4		1,2	0,9		0,5	0,7		0,8
10-Perzentil									0,3			
2-Perzentil									0,2			
Minimum									0,1			
Sommer	2,64	3,98	3,15	3,20		1,54	1,44		1,00	1,09		1,23
Winter	3,49	5,05	3,70	3,92		2,97	2,45		2,16	2,08		2,43

Tabelle 35: Statistik für die BCPM1/PM10 in µg/m³

Stationstyp	Städtische Straße					Städtischer Hintergrund			Regionaler Hintergrund			
	DDN	DDB	LMI	LLÜ	LEI	DDW	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD
Vorabscheider	PM1		PM10		PM1		PM10	PM10	PM10			
Verfügbarkeit	99%		50%		95%		48%	98%	98%			
Jahresmittelwert	2,62		3,68		2,46		1,35	1,69	1,12			
Standardabw.	1,2		1,7		1,4		1,2	1,6	1,5			
Relative Stand.	46%		46%		57%		87%	97%	138%			
Maximum	10,9		11,9		11,1		10,1	13,7	12,2			
98-Perzentil	5,8		7,5		6,5		4,1	6,4	6,3			
90-Perzentil	4,0		5,7		3,8		2,7	3,4	2,4			
75-Perzentil	3,1		4,5		3,1		1,7	1,9	1,2			
50-Perzentil	2,4		3,5		2,2		1,0	1,2	0,6			
25-Perzentil	1,9		2,5		1,6		0,6	0,7	0,4			
10-Perzentil	1,5		1,7		1,1		0,5	0,5	0,2			
2-Perzentil	0,9		1,0		0,7		0,3	0,4	0,2			
Minimum	0,6		0,9		0,5		0,2	0,3	0,1			
Sommer	2,33		3,79		2,22		1,13	1,25	0,61			
Winter	2,91		3,46		2,68		1,76	2,14	1,66			

Tabelle 36: Statistik für die PN30-200nm in 1/cm³

Stationstyp	Städtische Straße					Städt. Hintergrund			Regionaler Hintergrund			
	DDN	DDB	LMI	LLÜ	LEI	DDW	LWE	LIT	MEL	COL	SWB	RWD
Verfügbarkeit	86%		41%		99%		48%	97%	91%			
JMW	6.975		9.360		7.510		4.019	4.681	3.266			
Stabw	3.230		4.810		2.799		1.895	2.433	1.867			
Rel.St.	46%		51%		37%		47%	52%	57%			
Maximum	16.343		18.696		16.381		10.179	14.448	9.905			
98-Perzentil	11.791		17.289		14.092		7.769	10.868	7.838			
90-Perzentil	9.955		14.371		11.340		6.670	8.003	5.581			
75-Perzentil	8.378		11.277		9.233		5.106	5.868	4.034			
50-Perzentil	6.720		9.138		7.123		3.725	4.252	2.963			
25-Perzentil	5.316		6.898		5.469		2.749	2.932	2.060			
10-Perzentil	4.267		5.051		4.318		1.966	2.132	1.420			
2-Perzentil	2.852		2.927		2.961		1.357	1.487	939			
Minimum	2.042		2.726		1.909		1.082	884	549			
Sommer	7051		9764		7487		4120	4890	3472			
Winter	6895		8079		7534		3827	4460	3073			

Anlage 3:

Erläuterung zu den PM_x-Werten in Melpitz

Der PM₁₀-Jahresmittelwert von Melpitz ist etwas höher als der der städtischen Hintergrundmessstellen LWE, DDW und RWD (vergl. Kap. 3.3.1). Für diese Tatsache gibt es keine einfache Erklärung.

Es wurden dafür die einzelnen Messtage 2010, besonders im Bezug von Melpitz zu LWE, näher betrachtet und vorhandene Tagesmittelwerte für PM_{2.5} in Melpitz einbezogen. Um den „Effekt“ nicht innerhalb von möglichen Messunsicherheiten zu diskutieren wurden nur die Tage mit einer Differenz in der Partikelmassenkonzentration PM₁₀ zwischen ME und LWE von mehr als 5 µg/m³ näher betrachtet.

Es traten solche Tage vorwiegend im Winter bei hohen Tagesmittelwerten der PM₁₀-Konzentration mit einem hohen PM_{2.5}/PM₁₀-Verhältnis auf (17 Tage mit PM_{2.5}/PM₁₀ im Mittel von etwa 0.84 und einer mittleren PM₁₀-Konzentration von 46.7 µg/m³). Diese Tage sind typisch für Ferntransportereignisse bei oftmals östlicher Anströmung, tatsächlich waren an diesen Tagen auch fast immer die PM₁₀-Konzentrationen an der östlichsten sächsischen Station (Niesky ist nicht Gegenstand dieses Berichtes, TEOM-Messungen) am höchsten. Das hohe PM_{2.5}/PM₁₀-Verhältnis zeigt, dass nicht nur PM₁₀ sondern auch PM_{2.5} betroffen ist (vgl. Kapitel 3.3.3).

Betrachtet man nun Tage mit einer PM₁₀-Differenz von mehr als 5 µg/m³ zwischen ME und LWE, die vorwiegend im Sommer auftraten, hatten diese relativ geringe Tagesmittelwerte für PM₁₀ verbunden mit einem kleinen PM_{2.5}/PM₁₀-Verhältnis. Das ist typisch für lokale Grobstaubemissionen in der Umgebung der Station (29 Tage mit PM_{2.5}/PM₁₀ im Mittel von 0.64 und einer mittleren PM₁₀-Konzentration von nur 19.4 µg/m³).

Mit dieser Abschätzung lässt sich zeigen, dass die Tage mit Ferntransport im Winter, wo die Luftmassen wahrscheinlich nicht Leipzig oder Dresden, aber Melpitz erreichen, den größten Einfluss auf eine geringfügige Erhöhung des Jahresmittelwertes von ME gegenüber LWE von etwa 2 µg/m³ haben.

Zusätzlich könnte im Winter der beschriebene Effekt noch durch eine unterschiedliche Mischungsschichthöhe erklärt werden. Melpitz liegt über sehr flachem Gelände und es ist möglich, dass die Grenze der Mischungsschicht hier an kalten Wintertagen stärker absinkt als über der orographisch „rauhem“ Stadt. Diese Tatsache wird von Lenschow-Ansatz [Lenschow, 2001] nicht berücksichtigt. Der Effekt der Ausbildung einer geringfügig höheren PM₁₀- bzw. PM_{2.5}-Konzentration über dem flachen Land im Vergleich zum Hintergrund in den Städten wurde auch für das Land Mecklenburg-Vorpommern für die Jahre 2007 bis 2010 gezeigt. Er konnte dort 2006 nicht nachgewiesen werden [Draheim, 2011]. Die Station ME ist EMEP-Station, bei einem Vergleich von 22 EMEP-Stationen in Europa im Jahr 2007 wurde hier das zweithöchste PM_{2.5}/PM₁₀-Verhältnis von 0.8 erreicht [Spindler, 2010]. Das deutet daraufhin, dass Melpitz eher vom Ferntransport als von lokalen Grobstaubemissionen in der unmittelbaren Umgebung (Weideland) beeinflusst wird.

Anlage 4:

Einfluss der Bautätigkeit auf die PM₁₀-Immission in Leipzig-Mitte 2010

Ermittlungsmethode

Die Analyse der ½-h-Mittelwerte für PM₁₀ der Messstation Leipzig-Mitte (LMI) und Stationsvergleich mit drei weiteren verkehrsnaher Messstationen (LLÜ, DDN, DDB). Die Kriterien für Bautätigkeit sind:

- Median der drei Vergleichstationen kleiner 50 µg/m³ PM₁₀ für ½-h-Mittel gegenüber LMI
- Mindestens zwei ½-h-Werte pro Tag erfüllen 1. Anstrich
- Vergleichsstation LLÜ darf keinen ähnlichen Verlauf zeigen wie LMI

Die Berechnung der Zusatzbelastung für „lokale Bautätigkeit“ (PM_{10_ZB_Bau}) erfolgte aus ½-h-Werten. Danach wird die Zusatzbelastung auf den Tagesmittelwert bezogen.

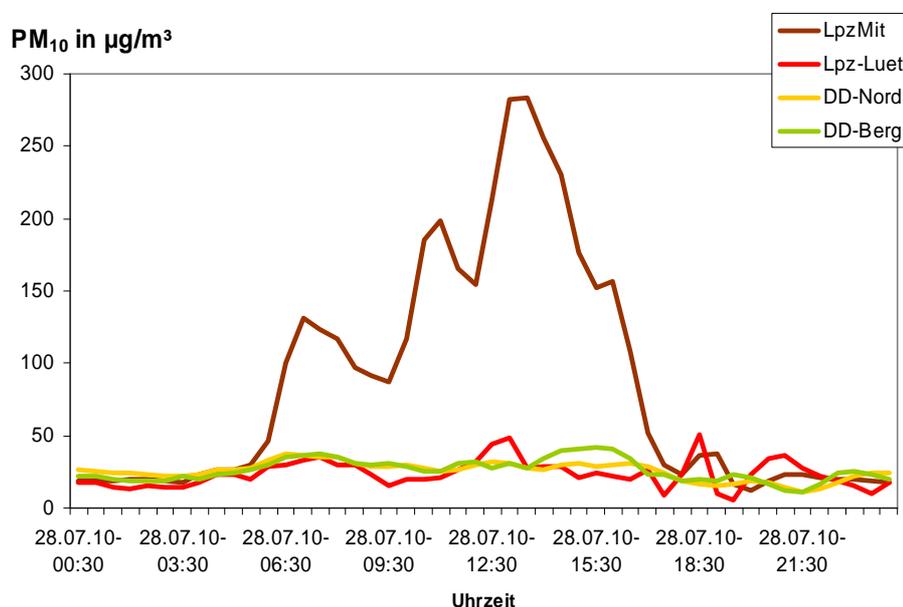


Abbildung 59: Beispiel für PM₁₀-Verlauf (28. Juli 2010) an vier verkehrsbezogenen Messstationen mit Bautätigkeit in der Nähe der Messstation Leipzig-Mitte.

Ergebnisse zur Bautätigkeit

Ein signifikanter Einfluss auf PM₁₀ wurde an 32 Tagen im Jahr 2010 (= 9%) ermittelt (Tabelle 37). An 9 Tagen wurde eine Tagesgrenzwertüberschreitung (GW-Ü) durch Bautätigkeit verursacht, davon war an 3 Tagen (26.-28.7.) die Zusatzbelastung durch den Bau höher als der Tagesgrenzwert. Der Anteil durch Bautätigkeit am PM₁₀-Jahresmittelwert 2010 beträgt mindestens 1,6 µg/m³ PM₁₀ bzw. mindestens 5,4 % vom Jahresmittelwert.

Tabelle 37: Liste der Tage mit signifikantem Einfluss der Bautätigkeit auf den PM10-Tagesmittelwert an der Messstation Leipzig-Mitte im Jahr 2010 mit quantifiziertem Anteil der PM10-Zusatzbelastung durch die Bautätigkeit (PM10_ZB_Bau)

Tag	PM10_ZB_Bau in µg/m ³	PM10_Andere Quellen in µg/m ³	PM10_GB ⁹ in µg/m ³	GW-Ü ¹⁰ durch Bautätigkeit?	PM10-Anteil ZB_Bau
Montag, 7. Juni 2010	14	33	47		29%
Freitag, 11. Juni 2010	15	36	51	ja	30%
Mittwoch, 23. Juni 2010	8	44	53	ja	16%
Dienstag, 29. Juni 2010	13	45	58	ja	22%
Mittwoch, 30. Juni 2010	4	40	43		8%
Mittwoch, 7. Juli 2010	3	36	40		8%
Samstag, 10. Juli 2010	5	35	40		13%
Mittwoch, 14. Juli 2010	6	40	46		13%
Donnerstag, 15. Juli 2010	5	34	39		12%
Freitag, 16. Juli 2010	2	39	42		6%
Montag, 19. Juli 2010	19	32	50		37%
Mittwoch, 21. Juli 2010	2	39	41		6%
Donnerstag, 22. Juli 2010	3	46	49		6%
Montag, 26. Juli 2010	77	30	107	ja	72%
Dienstag, 27. Juli 2010	56	34	90	ja	63%
Mittwoch, 28. Juli 2010	58	28	86	ja	67%
Donnerstag, 29. Juli 2010	12	27	39		31%
Freitag, 30. Juli 2010	13	26	39		33%
Montag, 2. August 2010	24	31	55	ja	44%
Mittwoch, 4. August 2010	7	37	44		16%
Donnerstag, 5. August 2010	45	27	72	ja	62%
Montag, 9. August 2010	12	28	39		30%
Dienstag, 10. August 2010	9	36	45		21%
Mittwoch, 11. August 2010	8	38	46		18%
Donnerstag, 19. August 2010	4	27	31		13%
Dienstag, 24. August 2010	6	23	29		22%
Mittwoch, 25. August 2010	39	28	67	ja	58%
Donnerstag, 16. September 2010	2	22	25		9%
Dienstag, 21. September 2010	4	40	44		9%
Dienstag, 9. November 2010	4	42	46		8%
Mittwoch, 10. November 2010	8	32	39		19%
Montag, 13. Dezember 2010	4	16	21		21%

⁹ GB = Gesamtbelastung

¹⁰ GW-Ü = Grenzwertüberschreitung

Anlage 5:

Messverfahren Impaktormessung

Einleitung

Im Rahmen des GUAN-Messnetzes wurden in den Jahren 2009 und 2010 chemische Aerosolprobenahmen in der Eisenbahnstraße durchgeführt, deren Ergebnisse in diese Untersuchungen einfließen. Außerdem sind im Februar 2011 Messungen zur Situation unmittelbar vor Einführung der Umweltzone durchgeführt worden.

Ein Großteil der Messungen ist mit einem fünfstufigen Berner-Impaktor vorgenommen worden (Abbildungen Abbildung 53 bis Abbildung 58 im Kapitel 5.8). Keinen Einfluss auf die EC-Konzentration hat bei den ultrafeinen Partikeln die Anströmungsrichtung, was darauf schließen lässt, dass allein lokale Quellen – hier vor allem Verkehr und individuelle Heizungen – die Konzentration bestimmen. Im Herbst 2010 und im Februar 2011 sind die Impaktorproben mit einem 10-stufigen Impaktor gesammelt worden, um die ultrafeinen Partikel noch genauer charakterisieren zu können. Die 10 Stufen ermöglichen eine bessere Trennung der Komponenten und deren Zuordnung zu Quellgruppen (Abbildungen Abbildung 50 und Abbildung 51 im Kapitel 5.8).

Die Partikelproben wurden auf den Gehalt an OC und EC sowie auf die wasserlöslichen Ionen und ausgewählte organische Verbindungen untersucht. Eine „Wirkung“ der Umweltzone wird vor allem bei den ultrafeinen Partikeln erwartet, die in Zukunft in geringerer Zahl emittiert werden sollten.

Probenahme

Die technischen Daten der beiden Impaktortypen sind in der Tabelle 38 zusammengefasst. Als Sammelsubstrat wurden geglähtete Aluminium-Folien eingesetzt, die sich bereits in früheren Projekten als optimal erwiesen haben.

Eine Vergleichsmessung zwischen den Impaktoren, die in diesem Projekt eingesetzt wurden, ist in einem früheren Forschungsvorhaben für das sächsische Landesamt für Umwelt, Geologie und Landwirtschaft im Sommer 2006 am IfT durchgeführt worden. Da die Stahlimpaktoren sehr robust sind und sich durch Nutzung mechanisch nicht verändern und wegen des hohen Aufwandes wurde hier auf eine Wiederholung verzichtet.

Wägung

Die Aluminiumfolien wurden unter Luft mindestens 2 h bei 350°C ausgeglüht und danach für mindestens 72 h bei 22°C und 50 % RF in einer Plexiglasbox in einem klimatisierten und luftfeuchte-kontrollierten Wägeraum konditioniert. Die Wägung erfolgte auf einer Präzisionswaage der Firma Mettler-Toledo (UMT 2) mit einer Ablesegenauigkeit von 0,1 µg und einer mittleren Standardabweichung von 0,8 µg. In Abbildung 60 ist eine 10-Fachwägung einer Impaktorfolie dargestellt. Eine solche Messung wird vor Beginn an jedem Wägetag vorgenommen. Nur wenn die Standardabweichung unter 1,5 µg liegt wird mit der Wägung begonnen.

Nach der Beprobung wurden die Folien wieder für mindestens 72 h (bei gleichen Bedingungen wie vor der Probenahme) konditioniert und danach gewogen. Die Aufbewahrung der beprobten Impaktorfolien erfolgte bei mindestens -18 °C bis zur Analyse. Unter der experimentell früher bereits abgesicherten Annahme, dass alle Impaktorstufen bei der Probenahme homogen belegt werden, erfolgte die Probenteilung für die nachfolgenden chemischen Charakterisierungen durch Auszählen der Impaktorspots und Zerschneiden mit einer Keramikscheere.

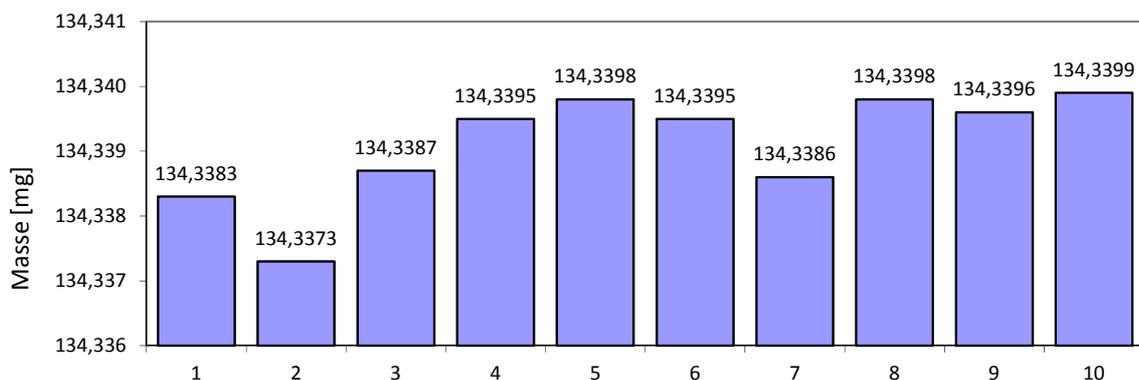


Abbildung 60: 10fach-Wägung einer Impaktorfolie (Standardabweichung: 0,85 µg).

Ionenchromatographie

Die Folienteile wurden 10 min bei 900 Schwingungen/min, 10 min im Ultraschall und nochmals 10 min bei 900 Schwingungen/min in 2,0 ml deionisiertem Wasser extrahiert. Die zur Ionenanalyse benötigten Aliquote wurden durch Membranfilter mit 0,45 µm Porenweite filtriert und mittels IC analysiert. Dafür wurde ein ICS3000-Ionenchromatographie-System (DIONEX, Sunnyvale, USA) mit Eluentengenerator und Micromembran-Suppressor eingesetzt. Tabelle 38 gibt die Analysenparameter an. Die Nachweisgrenzen für die Ionen hängen nicht nur von der Ionenchromatographie selbst, sondern auch von den Wasserblindwerten bzw. dem gesammelten Luftvolumen ab. Eine Variation ist vor allem durch die Wasserqualität gegeben. Die Nachweisgrenzen liegen üblicherweise im Bereich 0,5-2,5 ng/m³. Seit 1991 wird zweimal jährlich an den Internationalen Ringanalysen für Ionen der WMO-EPA (USA) mit Erfolg teilgenommen.

Tabelle 38: Ionenchromatographische Bedingungen

	Anionen	Kationen
Vorsäule	AG 18 (2x50 mm)	CG 16 (3x50 mm)
Trennsäule	AS 18 (2x250 mm)	CS 16 (3x250 mm)
Eluent	18-40 mM KOH	41 mM MSA
Flussrate	0,28 ml/min	0,40 ml/min
Säulentemperatur	32,5 °C	32,5 °C
Messzellentemperatur	35,0 °C	33,0 °C
Bestimmte Ionen	Chlorid, Nitrat, Sulfat, Oxalat	Natrium, Ammonium, Magnesium, Kalium, Calcium
Kalibrierung	Externe Vier-Punkt-Kalibrierung zu Beginn und am Ende jedes Laufes	

OC-EC-Analytik

Am IfT wird eine zweistufige thermographische Methode zur Bestimmung des partikulären Kohlenstoffs, getrennt in die Fraktionen organischer (OC) und elementarer Kohlenstoff (EC) als Modifikation der VDI-Richtlinie 2465, Blatt 2, angewandt. Die Analysen werden in einem Kohlenstoffanalysator vom Typ Ströhlein C-mat 5500 mit NDIR-Detektor durchgeführt.

Der erste Schritt umfasst die thermische Volatilisierung des OC aus der Partikelprobe unter Stickstoffatmosphäre bei 650 °C mit anschließender Oxidation am CuO-Katalysator bei 850 °C und Quantifizierung des gebildeten CO₂ durch IR-Absorption. Der unter diesen Bedingungen erfasste Kohlenstoffanteil wird als OC bezeichnet.

Der zweite Schritt erfasst im Anschluss den restlichen Kohlenstoffanteil, der unter Sauerstoffatmosphäre ebenfalls bei 650 °C quantitativ zu CO₂ verbrannt und durch IR-Absorption detektiert wird. Die so erhaltene Fraktion des partikulären Kohlenstoffs wird als EC bezeichnet. Die Summe aus OC und EC bildet demnach den Gesamtkohlenstoff (TC = Total Carbon).

Die OC/EC-Trennung ist methodenabhängig. Bisher hat sich weltweit kein einheitliches Verfahren durchsetzen können. Zahlreiche Vergleichsmessungen und Ringversuche haben die Streubreite der zur Anwendung kommenden Methoden aufgezeigt. Das IfT hat an mehreren dieser Kampagnen teilgenommen. Es hat sich gezeigt, dass die Streuung der Methoden für TC akzeptabel war, für OC/EC jedoch erhebliche Differenzen vom Mittelwert aller Teilnehmer auftraten. Der wahre Wert der Vergleichsproben konnte dabei nicht festgestellt werden, da keine geeignete Kalibriersubstanz für die komplexe OC/EC-Mischung in Aerosolpartikeln existiert. Aus den Untersuchungen geht hervor, dass die VDI-Methode und ihre Variationen im Vergleich zu den Verfahren mit optischer Korrektur für EC-Artefakte die OC-Fraktion tendenziell unter- und die EC-Fraktion überbestimmen. Die Verfahren mit optischer Korrektur sind jedoch nur für homogen belegte Filterproben anwendbar. Die Inhomogenitäten der Impaktorproben lassen dieses Verfahren für solche Proben nicht zu. Die Nachweisgrenzen unseres Verfahrens nach VDI 2465 sind in Tabelle 39 gezeigt.

Tabelle 39: Güteparameter des Verfahrens (OC/EC)

	OC	EC	TC
Absolute NWG des Gerätes [$\mu\text{g C}$] ¹¹			0,03
Relative NWG2 [$\mu\text{g C /m}^3$] ¹²	0,23 – 0,28	0,06-0,08	
Streuung aus Wiederholungs-messungen [%]	5,5	8,9	3,0

¹¹ aus der Streuung der Leerblindwerte ermittelt

¹² von 33 % der Folie ermittelt, von der Chargenqualität der Aluminiumfolien abhängig

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Dr. Gunter Löschau, Uwe Wolf, Dr. Andrea Hausmann
LfULG, Referat Luftqualität
Prof. Dr. Alfred Wiedensohler, Fabian Rasch, Dr. Gerald Spindler, Dr. Konrad Müller,
Dr. Wolfram Birmili, Prof. Dr. Hartmut Herrmann
Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V.
Permoserstr. 15, 04318 Leipzig

Redaktion:

Dr. Gunter Löschau
LfULG, Referat Luftqualität
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-5101
Telefax: +49 351 2612-5099
E-Mail: gunter.loeschau@smul.sachsen.de

Redaktionsschluss:

11.05.2012

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinarbeit des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.