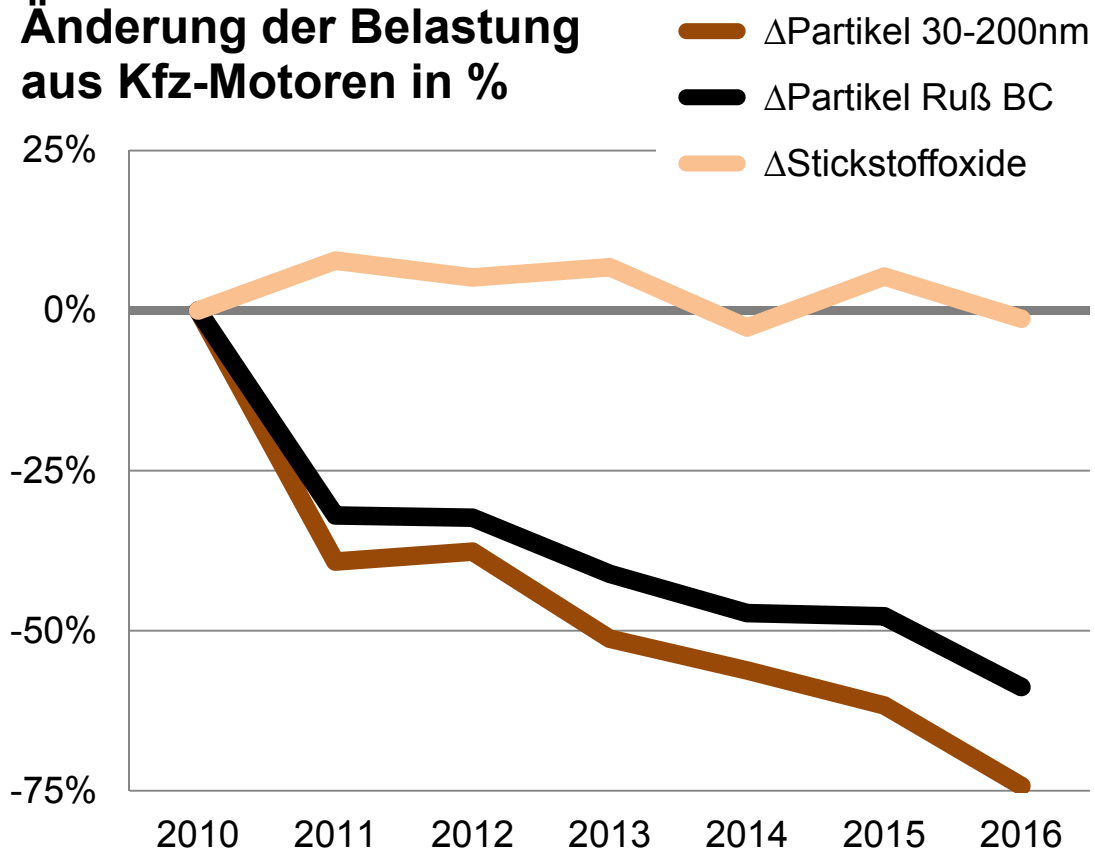


Umweltzone Leipzig

Abschlussbericht

Änderung der Belastung aus Kfz-Motoren in %



Titelbild

Die Grafik zeigt die Änderung der Schadstoffbelastung in der Außenluft durch die veränderten Motoremissionen der vorbeifahrenden Fahrzeuge im Zentrum der Umweltzone Leipzig.

Mit Einführung der Umweltzone 2011 erfolgte eine beschleunigte Modernisierung der Fahrzeugflotte in Leipzig gegenüber anderen Regionen in Sachsen. Die Belastung durch Verbrennungspartikel aus der modernisierten Fahrzeugflotte reduzierte sich sehr deutlich. Die Reduzierung war im ersten Jahr der Umweltzone am stärksten. Nach sechs Jahren wurde eine Minderung für die Anzahl der Partikel von 30 bis 200 nm um 74 % und für Ruß-Partikel BC um 59 % nachgewiesen. Dies dokumentiert den **Erfolg der Partikelfilter in modernen Dieselfahrzeugen beim realen Fahren in der Stadt**. Der hochtoxische Feinstaubanteil in der Außenluft und damit das Gesundheitsrisiko der Bevölkerung wurden sehr deutlich gesenkt. Die Umweltzone war damit eine sinnvolle und wirkungsvolle Maßnahme der Stadtverwaltung.

Gleichzeitig trat keine Verbesserung für die Stickstoffoxide durch die modernste Fahrzeugflotte Sachsens ein. Die Dieselfahrzeuge gelten als die Hauptverursacher. Der **Misserfolg in der Minderung der Stickoxide moderner Diesel-PKW beim realen Fahren in der Stadt** trotz verschärfter EURO-Abgasnormen wurde dokumentiert. Über die tatsächlichen Emissionen moderner Diesel-PKW wurden Bürger und Stadtverwaltung von Autoherstellern getäuscht.

Messtechnische Begleitung der Einführung der Umweltzone Leipzig

Immissionssituation von 2010 bis 2016 und Wirkung der Umweltzone auf die straßennahe Luftqualität

Abschlussbericht

Gunter Löschau, Alfred Wiedensohler, Wolfram Birmili, Fabian Rasch,
Gerald Spindler, Konrad Müller, Andrea Hausmann, Uwe Wolf, Werner Sommer, Mario Anhalt,
Volker Dietz, Hartmut Herrmann, Uwe Böhme, Horst-Günter Kath und Holm Kühne

Inhalt

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 9 |
| 2 | Methodik | 13 |
| 2.1 | Messkonzept | 13 |
| 2.2 | Lösungsansatz | 14 |
| 2.3 | Durchführung Messungen 2016 | 15 |
| 3 | Rahmenbedingungen | 18 |
| 3.1 | Viele Einflussgrößen auf die Immissionen..... | 18 |
| 3.2 | Umsetzung von Maßnahmen der Luftreinhaltepläne | 18 |
| 3.3 | Entwicklung der Verkehrsstärken | 19 |
| 3.4 | Meteorologische Bedingungen | 22 |
| 4 | Ergebnisse der Immissionsmessungen von 2010 bis 2016 und deren Diskussion | 23 |
| 4.1 | Jahresmittelwerte | 23 |
| 4.1.1 | Gesetzlich vorgegebene Immissionsmessgrößen PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂ und NO _x | 23 |
| 4.1.2 | Ergänzende wissenschaftliche Immissionsmessgrößen BC, PN _{30-200nm} und PM _{30-200nm} | 26 |
| 4.2 | Mittlerer Wochengang | 28 |
| 4.3 | Immissionsanteil Motor der Fahrzeuge..... | 31 |
| 4.3.1 | Bestimmungsmethode..... | 31 |
| 4.3.2 | Ergebnisse | 31 |
| 4.3.2.1 | Entwicklung am Stationstyp „Städtische Straße“ | 31 |
| 4.3.2.2 | Entwicklung an den einzelnen verkehrsnahen Messstationen | 32 |
| 4.3.3 | Minderung für Feinstaub PM ₁₀ und für das Gesundheitsrisiko | 37 |
| 4.4 | Gesetzliche Beurteilung der Luftqualität in Leipzig und Dresden | 39 |
| 5 | Zusammenfassung | 42 |
| | Literaturverzeichnis | 44 |
| | Anlage 1: Luftreinhaltemaßnahmen in Leipzig und Dresden | 49 |
| | Anlage 2: Datenqualität 2016 | 55 |
| | Anlage 3: Statistik der Tagesmittelwerte 2016 | 56 |
| | A 3.1: Gesetzliche Überwachungsgrößen | 56 |
| | A 3.2: Ergänzende wissenschaftliche Sondermessungen | 58 |
| | A 3.3: Kfz-Zählergebnisse der Stadtverwaltungen | 60 |
| | Anlage 4: Mittlerer Tagesgang der Woche der Messgrößen von 2010 bis 2016 | 61 |
| | A 4.1: Verkehrsnahen Messstationen | 61 |
| | A 4.2: Messstationen im städtischen Hintergrund | 66 |
| | A 4.2: Messstationen im regionalen Hintergrund | 69 |
| | Anlage 5: Annahmen zur Berechnung des Immissionsanteils Motor..... | 74 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Wirkung einer Umweltzone auf die Feinstaubzusammensetzung [Wichmann 2011]..... | 10 |
| Abbildung 2: Euro-Abgasnormen und reale Abgasmessungen für Dieselfahrzeuge [Mönch 2015] | 10 |
| Abbildung 3: Verursacher für NO ₂ [UBA 2014]..... | 11 |
| Abbildung 4: Schema der Verursachermanalyse für eine verkehrsnahen PM ₁₀ -Belastung mit Ermittlung des Immissionsanteils Motor durch die Immissionsmessung der Partikelgrößenverteilung | 15 |
| Abbildung 5: Jahresmittelwerte für den durchschnittlich täglichen Gesamtverkehr (Kfz) von 2010 bis 2016 und dessen relative Änderung gegenüber dem Bezugsjahr 2010 | 19 |
| Abbildung 6: Jahresmittelwerte für den durchschnittlich täglichen Schwerverkehr (SV) und dessen relative Änderung gegenüber dem Bezugsjahr 2010 sowie der Anteil des SV am Gesamtverkehr von 2010 bis 2016 | 20 |
| Abbildung 7: Mittlerer Wochengang für Gesamtverkehr (Kfz) und Schwerverkehr (SV) in der Nähe der Luftgütemessstation Leipzig-Mitte von 2010 bis 2016..... | 21 |
| Abbildung 8: Abweichungen meteorologischer Parameter ΔT , ΔR und ΔS von 2010 bis 2016 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990..... | 22 |
| Abbildung 9: Entwicklung der Konzentrationen an den Stationstypen (links), an den straßennahen Stationen (Mitte) und deren prozentuale Änderungen gegenüber 2010 (rechts) für die gesetzlich vorgegebenen Immissionsmessgrößen PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 25 |
| Abbildung 10: Entwicklung der Konzentrationen an den Stationstypen (links), an den straßennahen Stationen (Mitte) und deren prozentuale Änderungen gegenüber 2010 (rechts) für die ergänzenden wissenschaftlichen Messgrößen BC _{PM1} , PN _{30-200nm} und PM _{30-200nm} von 2010 bis 2016 | 27 |
| Abbildung 11: Mittlerer Tagesgang der Woche für die Konzentrationen von Ruß und Partikel von 30 bis 200 nm an Leipzig-Mitte vor Einführung der Umweltzone 2010 und in den Jahren danach bis 2016..... | 29 |
| Abbildung 12: Mittlerer Tagesgang der Woche für die Konzentrationen von PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x an Leipzig-Mitte vor Einführung der Umweltzone 2010 und in den Jahren danach bis 2016 | 30 |
| Abbildung 13: Entwicklung des Immissionsanteils Motor am Stationstyp „Städtische Straße“ und an den einzelnen straßennahen Stationen für das Gas NO _x und die Partikel BC _{PM1} , PN _{30-200nm} und PM _{30-200nm} von 2010 bis 2016..... | 33 |
| Abbildung 14: Entwicklung des Immissionsanteils Motor ΔNO_x und der relativen Verkehrsstärke in der Straßenschlucht an LLÜ von 2010 bis 2016 | 34 |
| Abbildung 15: Relative Änderung des Immissionsanteils durch die Kfz-Motoremissionen an der Messstation Leipzig-Mitte von 2010 bis 2016 | 37 |
| Abbildung 16: Absolute Änderung des Immissionsanteils Motor für die Partikelmassen von Ruß als BC sowie sehr kleiner Partikel von 30 bis 200 nm in Leipzig (LMI, LEI) und Dresden (DDN) 2016 gegenüber 2010..... | 38 |
| Abbildung 17: Ergebnisse der Messung für PM ₁₀ , PM _{2.5} und NO ₂ für die Jahresmittelwerte von 2010 bis 2016 und dessen Relation zum jeweiligen Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit | 41 |
| Abbildung 18: Prozentualer Anteil der Schadstoffgruppen (Plaketten) bei den nach der 35. BImSchV kennzeichnungspflichtigen Diesel-PKW und Nutzfahrzeugen in Leipzig zum 1. Januar des jeweiligen Jahres (Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt) | 52 |
| Abbildung 19: Geförderte Partikelfilternachrüstungen bei PKW, einschließlich Sonder-Kfz und leichten Nutzfahrzeugen in Sachsen, Leipzig und Dresden im Zeitraum 2009 bis 2016 nach [BAFA 2017] | 52 |
| Abbildung 20: Mittlerer Tagesgang der Woche an der verkehrsnahen Messstation Dresden-Nord (DDN) für PN _{30-200nm} , Ruß-BC _{PM1} , PM ₁₀ und NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 61 |
| Abbildung 21: Mittlerer Tagesgang der Woche an der verkehrsnahen Messstation Dresden-Bergstraße (DDB) für Kfz-Zählwerte, PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 62 |
| Abbildung 22: Mittlerer Tagesgang der Woche an der verkehrsnahen Messstation Leipzig-Lützner Straße (LLÜ) für Kfz-Zählwerte, PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 63 |
| Abbildung 23: Mittlerer Tagesgang der Woche an der verkehrsnahen Messstation Leipzig-Mitte (LMI) für Kfz-Zählwerte, PN _{30-200nm} , Ruß-BC _{PM1} , PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016..... | 65 |
| Abbildung 24: Mittlerer Tagesgang der Woche an der verkehrsnahen Messstation Leipzig-Eisenbahnstraße (LEI) für PN _{30-200nm} und Ruß-BC _{PM1} von 2010 bis 2016 | 65 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 25: Mittlerer Tagesgang der Woche an der städtischen Hintergrund-Messstation Dresden-Winkelmannstraße (DDW) für PN _{30-200nm} , Ruß-BC _{PM1} , PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 66 |
| Abbildung 26: Mittlerer Tagesgang der Woche an der städtischen Hintergrund-Messstation LeipzigWest (LWE) für PN _{30-200nm} , Ruß-BC _{PM1} , PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 67 |
| Abbildung 27: Mittlerer Tagesgang der Woche an der städtischen Hintergrund-Messstation Leipzig-TROPOS (LTR) für PN _{30-200nm} und Ruß-BC _{PM1} von 2010 bis 2016 | 68 |
| Abbildung 28: Mittlerer Tagesgang der Woche an der regionalen Hintergrund-Messstation Melpitz (MEL) für PN _{30-200nm} , Ruß-BC _{PM1} , PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 69 |
| Abbildung 29: Mittlerer Tagesgang der Woche an der regionalen Hintergrund-Messstation Collmburg (COL) für PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 70 |
| Abbildung 30: Mittlerer Tagesgang der Woche an der regionalen Hintergrund-Messstation Schwartenberg (SWB) für PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 71 |
| Abbildung 31: Mittlerer Tagesgang der Woche an der regionalen Hintergrund-Messstation Radebeul-Wahnsdorf (RWD) für PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 72 |
| Abbildung 32: Mittlerer Tagesgang der Woche an der regionalen Hintergrund-Messstation Brockau (BRO) für PM ₁₀ , NO ₂ und NO _x von 2010 bis 2016 | 73 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Messstationen für das Projekt Umweltzone Leipzig in Sachsen | 16 |
| Tabelle 2: Weitere Angaben zu den Messorten | 16 |
| Tabelle 3: Ergänzende Indikatoren für Verbrennungspartikel zur besseren Beurteilung der Umweltzone | 17 |
| Tabelle 4: Wichtige Immissions-Messgrößen im Überblick | 17 |
| Tabelle 5: Abweichungen meteorologischer Parameter 2010 bis 2016 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990 | 22 |
| Tabelle 6: Feinstaubminderung PM ₁₀ durch reduzierte Kfz-Motoremissionen 2016 gegenüber 2010 | 38 |
| Tabelle 7: Senkung des Gesundheitsrisikos der Bevölkerung durch den reduzierten hochtoxischen Feinstaubanteil im PM ₁₀ 2016 gegenüber 2010 | 38 |
| Tabelle 8: Kenngrößen der kritischen Luftschadstoffe an den verkehrsnahen Messstationen von 2010 bis 2016 | 41 |
| Tabelle 9: Darstellung ausgewählter mit dem Luftreinhalteplan 2009 beschlossener Maßnahmen und Stand deren Umsetzung als Gesamtergebnis der Jahre 2010 – 2015 | 50 |
| Tabelle 10: Verstöße gegen die Kennzeichnungspflicht (fließender und ruhender Verkehr) sowie Anzahl der vom Fahrverbot der Umweltzone ausgenommenen Kfz mit Stand zum 31.12.2016 | 51 |
| Tabelle 11: Betroffenheit von Grenzwertüberschreitungen für NO ₂ und PM ₁₀ in Dresden | 53 |
| Tabelle 12: Datenverfügbarkeit für Tagesmittelwerte | 55 |
| Tabelle 13: Messunsicherheit und Vergleichbarkeit 2016 | 55 |
| Tabelle 14: Statistik 2016 für PM ₁₀ in µg/m ³ | 56 |
| Tabelle 15: Anzahl der Tage 2016 mit PM ₁₀ -Grenzwertüberschreitung | 56 |
| Tabelle 16: Statistik 2016 für PM _{2,5} in µg/m ³ | 56 |
| Tabelle 17: Statistik 2016 für NO ₂ in µg/m ³ | 57 |
| Tabelle 18: Statistik 2016 für NO _x in µg/m ³ | 57 |
| Tabelle 19: Statistik 2016 für Ruß BC _{PM1} in µg/m ³ | 58 |
| Tabelle 20: Statistik 2016 für die Partikelanzahl PN _{30-200nm} in 1/cm ³ | 58 |
| Tabelle 21: Statistik 2016 für die Masse ultrafeiner und feiner Partikel PM _{30-200nm} in µg/m ³ | 59 |
| Tabelle 22: Statistik 2016 für die Anzahl aller Kraftfahrzeuge (Kfz) pro Tag von Montag bis Sonntag | 60 |
| Tabelle 23: Statistik 2016 für die Anzahl der Schwerverkehrsfahrzeuge (SV) pro Tag von Montag bis Sonntag | 60 |

Tabelle 24: Annahmen für die Aufteilung des Immissionsanteils Verkehr an den verkehrsnahen Messstellen für die Ausgangsbeurteilung 2010.....74

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------------------------|--|
| µm | Mikrometer |
| ΔR | Differenz der Niederschlagsmenge |
| ΔT | Differenz der Temperatur |
| ΔS | Differenz der Sonnenscheindauer |
| BC | Ruß gemessen als schwarzer Kohlenstoff BC (Black Carbon) |
| BfUL | Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft. Vom LfULG beauftragt für Durchführung der Messungen |
| BImSchG | Bundes-Immissionsschutzgesetz |
| BImSchV | Bundes-Immissionsschutzverordnung |
| BRO | Messstation Brockau (Luftgütemessnetz Sachsen) |
| COL | Messstation Collmburg (Luftgütemessnetz Sachsen) |
| cm ³ | Kubikzentimeter |
| d | Durchmesser |
| DDB | Messstation Dresden Bergstraße (Luftgütemessnetz Sachsen) |
| DDN | Messstation Dresden-Nord (Luftgütemessnetz Sachsen) |
| DDW | Messstation Dresden Winkelmannstraße (Luftgütemessnetz Sachsen) |
| DTV | Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke |
| EC | Ruß gemessen als elementarer Kohlenstoff EC (Elemental Carbon) |
| EU | Europäische Union |
| EMEP | European Monitoring and Evaluation Programme |
| GB | Gesamtbelastung (Immission) |
| GUAN | Das Messnetz für ultrafeine Partikel in Deutschland (German Ultrafine Aerosol Network) |
| GWÜ | Grenzwertüberschreitung |
| HBEFA | Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs |
| h | Stunde |
| INSEK | Integriertes Stadtentwicklungskonzept |
| JMW | Jahresmittelwert |
| Kfz | Kraftfahrzeug |
| LAI | Länderausschuss für Immissionen |
| LEI | Messstation Leipzig Eisenbahnstraße (TROPOS) |
| LfULG | Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie |
| LKW | Lastkraftwagen |
| LLÜ | Messstation Leipzig Lützner Straße (Luftgütemessnetz Sachsen) |
| LMI | Messstation Leipzig-Mitte (Luftgütemessnetz Sachsen) |
| LRP | Luftreinhalteplan |
| LTR | Messstation Leipzig TROPOS-Dach (TROPOS) |
| LWE | Messstation Leipzig-West (Luftgütemessnetz Sachsen) |
| m ³ | Kubikmeter |
| MEL | Messstation Melpitz (TROPOS) |
| Mo, Di, Mi, Do, Fr, Sa, So | Montag, Dienstag, Mittwoch, Donnerstag, Freitag, Samstag, Sonntag |
| nm | Nanometer |
| NN | Normalnull (Höhenangabe) |
| NO ₂ | Stickstoffdioxid |
| NO _x | Stickstoffoxide |
| OC | Organischer Kohlenstoff (Organic Carbon) |
| ÖPNV | Öffentlicher Personennahverkehr |
| PM ₁ | Massenkonzentration von Partikeln mit einem aerodynamischen Durchmesser (Median) kleiner 1 µm |
| PM ₁₀ | Massenkonzentration von Partikeln mit einem aerodynamischen Durchmesser (Median) kleiner 10 µm |
| PM _{2,5} | Massenkonzentration von Partikeln mit einem aerodynamischen Durchmesser (Median) kleiner 2,5 µm |
| PM _{30-200nm} | Massenkonzentration von Partikeln mit einem Mobilitätsdurchmesser von 30 bis 200 nm bzw. 0,03 bis 0,20 µm |
| PN _{30-200nm} | Anzahlkonzentration von Partikeln mit einem Mobilitätsdurchmesser von 30 bis |

| | |
|----------|--|
| | 200 nm bzw. 0,03 bis 0,20 µm |
| Rel. St. | Relative Standardabweichung |
| RWD | Messstation Radebeul-Wahnsdorf (Luftgütemessnetz Sachsen) |
| SMPS | Scanning Mobility Particle Sizer |
| Stabw | Standardabweichung |
| SV | Schwerverkehr |
| SWB | Messstation Schwartenberg (Luftgütemessnetz Sachsen) |
| TC | Gesamtkohlenstoff (Total Carbon) |
| TDMPS | Twin Differential Mobility Particle Sizer |
| TROPOS | Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e. V. in Leipzig |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure |
| VTA | Verkehrs- und Tiefbauamt |
| 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 Organization) |

1 Einleitung

Luftreinhaltepläne mit und ohne Umweltzone

In Gebieten mit Grenzwertüberschreitungen für Feinstaub oder Stickstoffdioxid werden Luftreinhaltepläne aufgestellt und umgesetzt, um die Luftqualität zu verbessern.

Die Stadt Leipzig beschloss 2009 insgesamt 48 Maßnahmen, die an verschiedene Adressaten der Luftverschmutzung ausgerichtet sind [Stadt Leipzig 2009]. Die Einführung der Umweltzone im Jahr 2011 war dabei die wichtigste verkehrsbezogene Maßnahme. Eine Umweltzone wirkt beschleunigend auf die Modernisierung der Fahrzeugflotte. Dabei ist es Ziel, nur noch emissionsärmeren Kraftfahrzeugen die Zufahrt zu gestatten um dadurch die Partikel- und NO_x-Belastung zu senken. Ältere, insbesondere dieseltreibene PKW, Kleintransporter, Busse und LKW mit hohen Motoremissionen werden durch die Umweltzone schneller aus der Fahrzeugflotte herausgelöst und ersetzt.

Der Luftreinhalteplan in Dresden sieht ebenfalls eine Vielzahl an Maßnahmen vor. Über einen speziellen „Dresdner Weg“ wurde ein Maßnahmenpaket unter Meidung einer Umweltzone realisiert, wobei die Minderung der Immissionsbelastung den gleichen Umfang haben sollte wie die Einführung einer Umweltzone [Dresden 2011]. Weitere Informationen zu den Maßnahmen und deren Umsetzung beinhaltet Anlage 1 (Autoren: Mitarbeiter der Stadtverwaltungen Leipzig bzw. Dresden).

Gesundheitsaspekte von Kraftfahrzeugemissionen

Die Luftverschmutzung beeinflusst die Lebensqualität vieler Menschen und verursacht Erkrankungen, Krankheitskosten und ökonomische Verluste.

Der Weltärztekongress von Durban (Südafrika) forderte im Oktober 2014 in seiner Erklärung eine Verminderung der Luftverschmutzung durch Kraftfahrzeugemissionen, insbesondere von Dieselfahrzeugen [WMA 2014].

Schon in den 1980er-Jahren belegten Studien die Gefährlichkeit von Rußpartikeln und Stickoxiden. Die MAK-Kommission stufte Dieselmotoremissionen bereits 1986 als krebserzeugend ein. Die Weltgesundheitsorganisation hat Dieselaabgase 1988 als wahrscheinlich krebserzeugend und 2012 als krebserzeugend eingestuft [WHO 2012]. Dieselaabgase stehen somit auf einer Stufe mit Asbest und Arsen. Ultrafeine Dieselpartikel sind als Verursacher von Krebs, Herzerkrankungen, Blutgerinnseln, Gehirnblutungen und ernstesten Atemwegserkrankungen bekannt [ECO 2012]. Feinstaub aus Abgasen von Kraftfahrzeugen ist damit toxikologisch erheblich relevanter als aus den meisten anderen Quellen [WICHMANN 2008]. Mit einer Umweltzone wird Dieselruß als der am meisten gesundheitsrelevante Anteil im Feinstaub reduziert und das Gesundheitsrisiko für die städtische Bevölkerung überproportional gemindert. Wenn es gelingt, diesen hoch toxischen Anteil im Feinstaub zu reduzieren, sinkt die Feinstaubkonzentration zwar nur um etwa 6 bis 12 %, aber das Gesundheitsrisiko sinkt um 30 bis 60 % (Abbildung 1).

Auch Benzinmotoren erzeugen Feinstaub. Sie stoßen Gase aus, die die Feinstaubbildung in der Außenluft fördern. Im Gegensatz zu den Dieselmotoren wurden an Benzinmotoren extrem geringe Mengen an primären Rußpartikeln festgestellt. Nach zwei Stunden photochemischer Reaktion entstand sekundärer Feinstaub, dessen größter Anteil aus organischen Partikeln bestand. Auch Nitrat, Ammoniumnitrat und Sulfat bildeten sich. Schon kleinste Mengen sekundären Feinstaubes schädigen Lungenzellen. Neue Untersuchungen an Benzinmotoren zeigen weiterhin, dass der Feinstaub aus Benzinmotoren der Schadstoffnorm Euro-5 genauso schädlich ist wie aus alten Fahrzeugen. Damit führen technische Weiterentwicklungen bei Benzinmotoren nicht zwingend zu weniger Gesundheitsschäden [KÜNZI 2015].

Neueste Studien zeigen, dass verkehrsnahe Außenluft das Risiko für Diabetes erhöht [WEINMAYR 2015], die Anzahl ultrafeiner Partikel mit dem Blutdruck von Schulkindern auf dem Pausenhof zusammenhängt [PIETERS 2015] und Ruß, unabhängig von der Messmethode mit Notfallkonsultationen und Krankenhausaufenthalten wegen Herz-Kreislauf-Krankheiten in Zusammenhang steht [WINQUIST 2015].

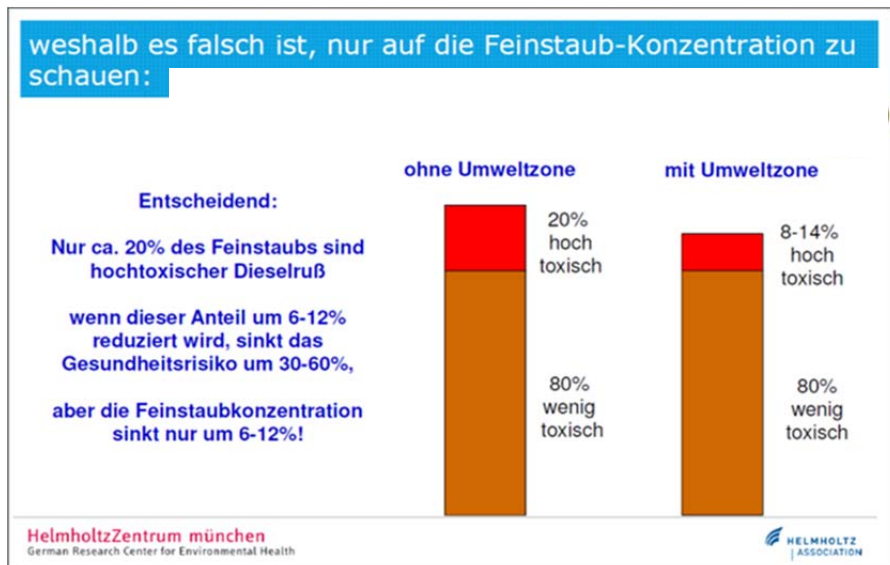


Abbildung 1: Wirkung einer Umweltzone auf die Feinstaubzusammensetzung [Wichmann 2011]

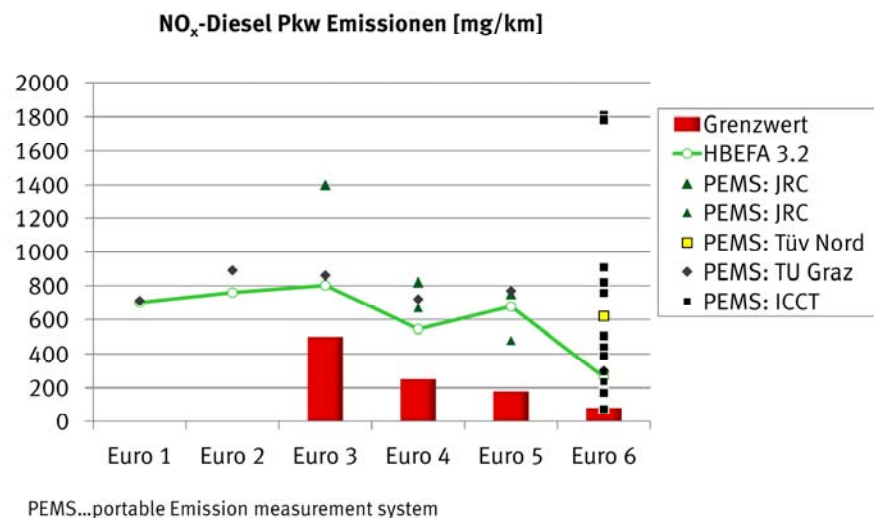


Abbildung 2: Euro-Abgasnormen und reale Abgasmessungen für Dieselfahrzeuge [Mönch 2015]

Dieselfahrzeuge mit Partikelfiltern

Dieselmotoren mit Partikelfiltern reduzieren die primären Partikelemissionen deutlich. Etwa 97 % der Ruß-Partikel werden in der Regel entfernt [KIRCHNER 2010]. Gleichzeitig steigen die NO₂-Direktemissionen [HAUSBERGER 2010]. Einzelprüfungen bei realen Fahrten von Dieselfahrzeugen zeigten, dass die tatsächliche Minderung der NO_x-Emissionen nicht den schärferen EURO-Abgasnormen in gleichem Maße folgt (Abbildung 2). Seit vielen Jahren werden Emissionsfaktoren zur Modellierung genutzt, die deutlich über den Grenzwerten der

Norm liegen. Selbst die Emissionsfaktoren nach HBEFA3.2 sind nicht immer ein guter Kompromiss zu den extrem streuenden realen Werten. In Dresden wurde z. B. an der Bergstraße mit 6 % Steigung modelliert. Danach hat ein Diesel-PKW genauso viele NO₂-Emissionen wie etwa 50 Benzin-PKW [LfULG 2015c]. Wenn nach den neuesten Emissionsfaktoren HBEFA3.3 für PKW mit Euro 6 modelliert wird, erhöht sich die Anzahl der Benzin-PKW gegenüber einem Diesel-PKW noch einmal deutlich. Dies veranschaulicht, dass Dieselfahrzeuge an der NO₂-Immission einen hohen Verursacheranteil erlangen können. Wenn Benzin-PKW durch Diesel-PKW ersetzt werden, wie es seit Jahren der Zulassungstrend in Deutschland und auch in Sachsen ist, dann kommt es bei einer gleichgebliebenen PKW-Anzahl zu höheren NO₂-Immissionen an der Straße. Eine Ursache für den überproportionalen Ersatz von Benzin-PKW durch Diesel-PKW ist der geringere Preis für den Dieselmotorkraftstoff. Der Gesetzgeber hat den geringeren CO₂-Ausstoß eines Dieselmotors gegenüber einem Benzinmotor bedingt durch eine höhere Energiedichte des Dieselmotorkraftstoffs und einen besseren Wirkungsgrad des Motors honoriert. Damit verbessern Dieselfahrzeuge deutlich die CO₂-Bilanz des heutigen Straßenverkehrs.

NO₂-Verursacher

In 107 Luftreinhalte-, Luftqualitäts- und Aktionsplänen der Jahre 2002 bis 2012 in Deutschland wurde eine Analyse der Quellgruppen für NO₂ durchgeführt. Danach verursacht der Kfz-Verkehr 64 % der NO₂-Belastung und 36 % stammen aus anderen Quellen (Abbildung 3). Auf die Situation in Deutschland übertragbare Berechnungen für Berlin zeigen, dass Stickstoffoxidemissionen aus dem Straßenverkehr nur zu etwa 20 % aus Benzin-Fahrzeugen stammen. Den Großteil von 80 % erzeugen Diesel-Kfz, wovon die Pkw knapp die Hälfte ausmachen [LAI 2016]. Wird diese Aussage mit den 64 % Kfz-Verkehr in Abbildung 3 verknüpft, so ergibt sich ein NO₂-Verursacheranteil von 51 % durch Diesel-Kfz.

Damit sind Dieselfahrzeuge für die häufige Nichteinhaltung der NO₂-Luftqualitätsgrenzwerte an Straßen in Deutschland von entscheidender Bedeutung [LAI 2016].

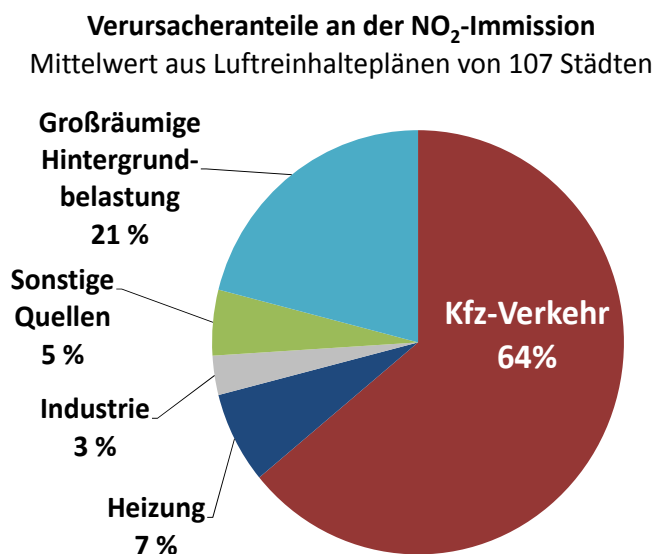


Abbildung 3: Verursacher für NO₂ [UBA 2014]

Messprogramm und Berichterstattung von LfULG und TROPOS zur Umweltzone

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Dresden und das Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e. V. (TROPOS) in Leipzig vereinbarten im Jahr 2009 gemeinsame wissenschaftliche Sondermessungen zur Begleitung von Umweltzonen in Sachsen durchzuführen, um deren Wirkung auf die Luftqualität darzustellen. Dabei wurden vorhandene Messsysteme mit den geringsten erreichbaren Messunsicherheiten in und um Leipzig und Dresden aus dem Luftgütemessnetz konzentriert. Vorüberlegungen zeigten, dass die gesetzlich vorgeschriebenen Messungen zur zeitnahen Beurteilung der Wirkung einer Umweltzone nicht ausreichend sind [LÖSCHAU 2008]. Deshalb wurden ergänzende wissenschaftliche Sondermesstechniken in einigen Messstationen des sächsischen Luftgüte-Messnetzes installiert und die Forschungsstationen des TROPOS in die Bilanz der Datenanalysen einbezogen. Die Untersuchungen konzentrierten sich auf die Stadt Leipzig mit Umweltzone. Vergleichend wurde die Stadt Dresden ohne Umweltzone (die Stadt Dresden hatte ein Maßnahmenbündel entwickelt, das die gleiche Wirkung zur Verbesserung der Luftqualität wie eine Umweltzone entfalten sollte) einbezogen. Das Messprogramm begann im Jahr 2010 und endete 2016.

Die Berichterstattung über die gewonnenen Messdaten und Auswertungen erfolgte jahresweise. Teil 1 (<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14411>) enthält die Messergebnisse für das Jahr 2010 vor Einführung der Umweltzone in Leipzig und beschreibt damit die Ausgangslage zur Beurteilung der Immissionssituation [LÖSCHAU 2012]. In Teil 2 (<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/18590>) werden die Messergebnisse für das Jahr 2011 dargestellt, in das die Einführung der Umweltzone in Leipzig fällt. Eine erste Wirkung der Umweltzone wurde im Vergleich mit der Ausgangssituation 2010 abgeschätzt [LÖSCHAU 2013]. Der dritte Bericht (<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23885>) enthält Beschreibung und Auswertung der Immissionsmessergebnisse im Zeitraum von 2010 bis 2013 [LÖSCHAU 2014]. Im vierten Bericht wurden die Auswertungen bis 2014 [LÖSCHAU 2015] und im fünften Teil bis 2015 [LÖSCHAU 2016] ergänzt. Im nun hier vorliegenden Teil 6 wurden die Messergebnisse im letzten Messjahr 2016 ergänzt und ausgewertet sowie die Entwicklung gegenüber der Ausgangslage im Jahr 2010 dargestellt. Dies stellt gleichzeitig den Abschlussbericht dar, da das Messprogramm im Januar 2017 eingestellt wurde. Während sich das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie verstärkt auf eine jährliche zeitnahe Veröffentlichung der Ergebnisse konzentrierte, fanden vertiefende wissenschaftliche Auswertungen in Fachzeitschriften durch das Leibniz-Institut für Troposphärenforschung statt (RASCH 2013, BIRMILI 2015, MA 2017).

2 Methodik

2.1 Messkonzept

Im Messprogramm werden ausschließlich Immissionen gemessen und bewertet. Messungen von Emissionen finden nicht statt.

Die gezielte Darstellung der Wirkung von Einzelmaßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität durch Immissionsmessungen ist prinzipiell meist nicht oder nur begrenzt möglich. Es ist üblich, eher ganze Maßnahmenpakete als Einzelmaßnahmen zu bewerten. Meist werden Modellierungen von verschiedenen Szenarien z. B. für den Verkehr genutzt, um die Wirkung auf die Schadstoffkonzentration von Feinstaub PM_{10} oder Stickstoffdioxid abzuschätzen. Mit dem vereinbarten Messprogramm wird der Versuch unternommen, die Wirkung der Einzelmaßnahme Umweltzone auf die Luftqualität messtechnisch zu quantifizieren. Diese ohnehin schwierige Aufgabe kann jedoch nur gelöst werden, wenn dazu eine Messgröße genutzt wird, die als Indikator für Kfz-Dieselabgase in der Außenluft empfindlich genug ist. Die vorhandenen Immissionsmessungen für NO_2 und NO_x sind dafür sehr gut geeignete Messgrößen, da die Immission zu etwa 2/3 durch vorbei fahrende Fahrzeuge verursacht wird. Die Messgröße Feinstaub PM_{10} ist dafür nicht geeignet, weil sie zu unempfindlich für den Belastungsanteil durch Motorpartikelemissionen ist, der ermittelte PM_{10} -Jahresmittelwert zu stark durch Schwankungen der meteorologischen Rahmenbedingungen beeinflusst werden kann und deshalb eine kurzfristige Einschätzung unmöglich macht [LfULG 2012]. Zur Bestimmung der Dieselabgase in der Außenluft gibt es keine allgemein anerkannte, in der EU standardisierte Messmethode. Aufgrund des Fehlens dieser wichtigen Grundlage wurde versucht, sich dem Ziel über drei unabhängige Partikel-Messmethoden zu nähern.

Diese Parameter der Partikelmessung sind:

- Ruß, gemessen als elementarer Kohlenstoff (EC) thermografisch nach VDI 2465 Blatt 1 und 2 bzw. thermo-optisch nach EUSAAR 2 (DIN EN 16909)
- Ruß, gemessen als schwarzer Kohlenstoff (BC) und
- Partikel mit Durchmessern von 30 bis 200 nm, gemessen als Partikelanzahl ($PN_{30-200nm}$) und daraus berechneter Partikelmasse ($PM_{30-200nm}$)

Sie werden nachfolgend als ergänzende wissenschaftliche Messverfahren bezeichnet, um sie von den gesetzlich geregelten Immissionsmessverfahren (hier PM_{10} , $PM_{2.5}$ und NO_2) abzugrenzen. Für diese wissenschaftlichen Messverfahren gibt es weder Grenzwerte zur Beurteilung der Messwerte noch so ausführlich geregelte Normen zur Durchführung der Messung und Datenqualität wie für die gesetzlichen Immissionsmessverfahren. Dennoch wurden diese Verfahren in die Luftüberwachung in Sachsen integriert, weil sie im Rahmen von Projekten bereits zuvor über viele Jahre praktiziert und Maßnahmen zur Qualitätssicherung und Qualitätskontrolle entwickelt wurden. Die gewonnenen Erfahrungen bilden eine solide Grundlage, um sie erfolgsversprechend auf die Untersuchungen bei der messtechnischen Begleitung der Umweltzone anzuwenden [BIRMILI 1998], [LÖSCHAU 2006], [LÖSCHAU 2009], [LÖSCHAU 2010], [WIEDENSOHLER 2012], [SCHLADITZ 2012], [BASTIAN 2012], [SCHLADITZ 2013], [SPINDLER 2013].

2.2 Lösungsansatz

Das Messverfahren PM_{10} bestimmt die Masse der Partikel und kann dabei nicht zwischen den motorbedingten und nicht motorbedingten Partikeln unterscheiden. Diese Partikel besitzen jedoch Unterschiede hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung, der optischen Eigenschaft und der Größe. So sind z. B. aufgewirbelte Bodenpartikel heller als die tiefschwarzen Rußpartikel aus dem Motor. Partikel aus Aufwirbelungen von Bodestaub und mechanische Abriebe sind im Wesentlichen größer $1\ \mu\text{m}$ und damit deutlich größer als Partikel, die direkt aus dem Verbrennungsprozess des Dieselmotors stammen und etwa im Größenbereich von 30 bis 200 nm liegen (Abbildung 4). Deshalb wird mit den wissenschaftlichen Messverfahren der Versuch unternommen, die motorbedingten Partikelemissionen als Immissionsanteil Motor über die Partikelgröße mit den Parametern $PN_{30-200\text{nm}}$ und $PM_{30-200\text{nm}}$, über die thermische Analyse von Ruß als elementarer Kohlenstoff EC und über die optische Eigenschaft von Ruß als schwarzer Kohlenstoff BC zu selektieren und zu quantifizieren.

Der Lösungsansatz zur Beurteilung der Umweltzone sieht vier wesentliche Schritte vor:

- Messung der Immissionen an typischen Messorten
- Bestimmung des Immissionsanteiles Verkehr nach Verursacheranalyse
- Bestimmung des Immissionsanteiles Motor für Partikel durch die Sondermessungen und
- Bestimmung der Reduzierung der hochtoxischen Feinstaubmasse PM_{10} über die Sondermessungen mit Abschätzung der Senkung des Gesundheitsrisikos

Im **ersten Schritt** werden die Immissionen für die gesetzlich vorgegebenen Messgrößen PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_x und NO_2 sowie für die wissenschaftlichen Messgrößen EC, BC, $PN_{30-200\text{nm}}$ und $PM_{30-200\text{nm}}$ an verschiedenen typischen Messorten in und außerhalb der Umweltzone bestimmt. Aus Kostengründen können jedoch nicht an jedem Messort alle Messgrößen bestimmt werden. Beginnend ab 2010 kann so aber die allgemeine Entwicklung der Luftqualität verfolgt werden. Die Entwicklung der Konzentrationen wird dabei von einer Vielzahl von Maßnahmen zur Luftreinhaltung, auf lokaler, regionaler und überregionaler Ebene geprägt und zusätzlich durch die jährlichen Schwankungen der meteorologischen Parameter variiert.

Weil eine Umweltzone vorrangig auf die Luftqualität im Umfeld an viel befahrenen Straßen in der Umweltzone wirkt, wird in einem **zweiten Schritt** die festgestellte Immission als Gesamtbelastung an den verkehrsnahen Messstellen einer Verursacheranalyse unterzogen. Über eine Bilanz mit den Ergebnissen der Hintergrundmessstationen kann der Immissionsanteil „Kfz-Verkehr an der Straße“ nach dem Lenschow-Ansatz [LENSCHOW 2001] abgeschätzt werden.

Für die Partikelmessgrößen ist ein **dritter Schritt** notwendig, um den partikulären Immissionsanteil „Kfz-Verkehr an der Straße“ in zwei Immissionsanteile zu untergliedern. Es wird zwischen motorbedingtem und nicht motorbedingtem Immissionsanteil unterschieden. Der Immissionsanteil Motor wird durch die Motoremisionen der vorbeifahrenden Fahrzeuge verursacht. Der nicht motorbedingte Immissionsanteil stammt von Abrieben von Reifen, Fahrbahnbelag und Bremsen sowie Aufwirbelungen von Bodestaub. Diese Partikelemissionen werden von jedem Kraftfahrzeug allein durch seine kinetische Energie (Fahrbewegung) verursacht, unabhängig ob es nun ein Benzin-, Diesel- oder Elektrofahrzeug ist. An diesem nicht motorbedingten Immissionsanteil kann eine Umweltzone nichts ändern. Ziel der Umweltzone ist es vielmehr, die motorbedingten Emissionen der Fahrzeuge zu reduzieren. Deshalb muss dieser Immissionsanteil Motor für Partikel separat über die wissenschaftlichen Sondermessungen bestimmt werden (Abbildung 4).

In einem **vierten Schritt** wird der Bezug der Ergebnisse der wissenschaftlichen Sondermessungen zur gesetzlichen Überwachungsgröße Feinstaub PM_{10} hergestellt. Dieser Weg umgeht den Nachteil, dass es für die

Sondermessgrößen keine allgemein akzeptierten Beurteilungswerte gibt. Die Sondermessgrößen werden damit genutzt, um die Veränderungen der gesetzlichen Messgröße Feinstaub PM_{10} sehr präzise darzustellen. Die Veränderung der Partikelmasse aus den wissenschaftlichen Sondermessungen (Schritt 3) wird als Änderung des hochtoxischen Feinstaubanteils PM_{10} ausgewiesen und über einen Literaturansatz wird der Einfluss auf das Gesundheitsrisiko abgeleitet (Abbildung 1). Diese Methode hat den Vorteil, dass keine neuen gesetzlichen Regulierungen für die Sondermessgrößen erforderlich sind.

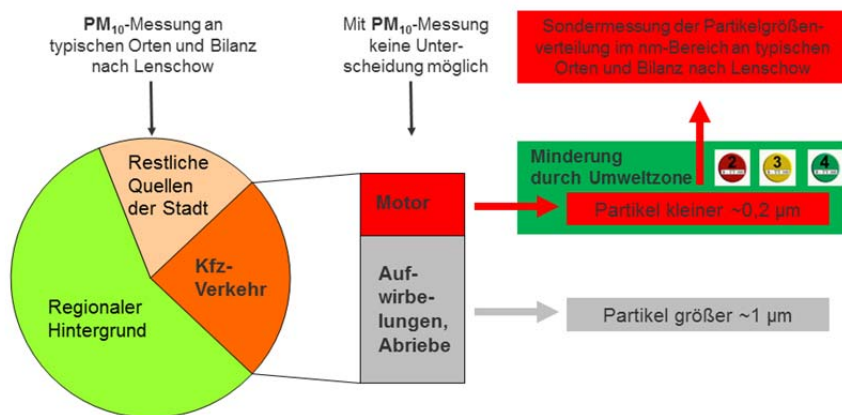


Abbildung 4: Schema der Verursacheranalyse für eine verkehrsnahe PM_{10} -Belastung mit Ermittlung des Immissionsanteils Motor durch die Immissionsmessung der Partikelgrößenverteilung

2.3 Durchführung Messungen 2016

Allgemeine Angaben zum Messprogramm

Nach dem gemeinsamen Messprogramm von LfULG und TROPOS wurden die Messungen an den 13 Messstationen im Jahr 2016 fortgesetzt (Tabelle 1) und planmäßig im Januar 2017 beendet.

Fünf verkehrsnahe Messstationen vom Typ „Städtische Straße“ in Leipzig und Dresden standen im Fokus der Untersuchungen (rot unterlegt). Weiterhin wurden für die Verursacherbilanz und Einschätzung der meteorologischen Verhältnisse auch Messstationen vom Typ „Städtischer Hintergrund“ (gelb unterlegt) und vom Typ „Regionaler Hintergrund“ (grün unterlegt) einbezogen. Einen Überblick zu den lokalen Bedingungen an den 13 Messstationen vermittelt Tabelle 2.

Neben der Messtechnik für die gesetzliche Immissionsüberwachung von PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 und NO_x wurden sieben Partikelgrößen-Mobilitätspektrometer und sieben Ruß-BC-Automaten eingesetzt, die gleichzeitig Bestandteil des German Ultrafine Aerosol Network (GUAN) sind [BIRMILI 2016]. An 9 Messorten wurde Ruß als EC und Gesamtkohlenstoff TC bestimmt.

Informationen zu den gewählten Indikatoren für die Verbrennungspartikel sind in Tabelle 3 aufgelistet. Die Konzentrationsangaben dieser Partikelgrößen werden im Bericht stets auf das Volumen im Betriebszustand bezogen, um mit den Richtlinien zur Luftqualität für Partikel konform zu gehen. Tabelle 4 zeigt, an welchen Messstationen welche Messgrößen bestimmt werden. Weitere Details sind in LÖSCHAU [2012] und [2014] veröffentlicht.

Änderungen im Messprogramm 2016 für Ruß gemessen als EC

Veränderungen gab es im Messverfahren bei der Bestimmung von Ruß als elementarer Kohlenstoff (EC) im Luftgütemessnetz an allen 10 Messstationen. Ab 1.1.2016 wurde das Messverfahren zur Bestimmung von EC (und organischen Kohlenstoff OC) nach VDI 2465 Blatt 1 auf thermo-optisch geändert. Das EUSAAR2- Temperaturprotokoll mit optischer Korrektur über den Transmissionswert zur Vereinheitlichung von EC Messungen in Europa (Infrastrukturvorhaben ACTRIS, European Research Infrastructure for the observation of Aerosol, Clouds, and Trace gases) wurde entsprechend dem Vorschlag der WG 35 [Cavalli 2010] auch im Luftgütemessnetz eingeführt, nachdem es bereits 2014 an der Messstation Melpitz zur Anwendung kam.

Es zeigte sich, dass durch den Messverfahrenswechsel gegenüber dem VDI-Protokoll die EC-Messwerte kleiner wurden. Da die Vergleichbarkeit der EC-Daten beider Messverfahren bis zum Redaktionsschluss nicht nachgewiesen wurde, erfolgte für den Indikator EC keine Auswertung.

Tabelle 1: Messstationen für das Projekt Umweltzone Leipzig in Sachsen

| Gebiet | Messstationsname | Abk. | Messstationstyp | Zuordnung |
|----------|-------------------------|------|----------------------------|--------------|
| Leipzig | Leipzig-Mitte | LMI | Städtische Straße | Luftmessnetz |
| | Leipzig Lützner Str. | LLÜ | Städtische Straße | Luftmessnetz |
| | Leipzig Eisenbahnstr. | LEI | Städtische Straße | TROPOS |
| | Leipzig-West | LWE | Städtischer Hintergrund | Luftmessnetz |
| | Leipzig TROPOS | LTR | Städtischer Hintergrund | TROPOS |
| Dresden | Dresden-Nord | DDN | Städtische Straße | Luftmessnetz |
| | Dresden Bergstr. | DDB | Städtische Straße | Luftmessnetz |
| | Dresden Winckelmannstr. | DDW | Städtischer Hintergrund | Luftmessnetz |
| Referenz | Melpitz | MEL | Regionaler Hintergrund | TROPOS |
| | Collmberg | COL | Regionaler Hintergrund | Luftmessnetz |
| | Schwarzenberg | SWB | Regionaler Hintergrund | Luftmessnetz |
| | Radebeul-Wahnsdorf | RWD | Vorstädtischer Hintergrund | Luftmessnetz |
| | Brockau | BRO | Regionaler Hintergrund | Luftmessnetz |

Tabelle 2: Weitere Angaben zu den Messorten

| Abk. | Bemerkung zum Messort |
|------|--|
| LMI | Am Hallischen Tor in Leipzig, Kreuzung Willy-Brandt-Platz, Zentrum, nahe Hauptbahnhof, offene Bebauung, 43.000 Kfz/d mit 3,4 % SV (2010), 110 m über NN |
| LLÜ | Lützner Straße 34, Straßenschlucht, 23.000 Kfz/d mit 3,5 % SV (2010), 115 m über NN |
| LEI | 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, |
| LWE | im Westen von Leipzig, Parkanlage, Nikolai-Rumjanzew-Str. 100, 115 m über NN |
| LTR | im Norden von Leipzig, auf dem Dach des dreistöckigen Tropos-Gebäudes, etwa 25 m über Grund, Forschungspark, 130 m über NN |
| DDN | Schlesischer Platz in Dresden, 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 |
| DDB | Bergstraße 78-80 in Dresden, Steigung der Fahrbahn 6 %, Autobahnzubringer, 25.000 Kfz/d mit 3,9 % SV (2010), 150 m über NN |
| DDW | Im Zentrum von Dresden. Parkanlage und Parkplatz im Hinterhof, Elbtal, 116 m über NN |
| MEL | 50 km nordöstlich von Leipzig, nordwestlich von Dresden, 400 m vom Dorf Melpitz, Weide, Flachland, 87 m über NN |
| COL | östlich von Leipzig und nordwestlich von Dresden, Berg 313 m über NN |
| SWB | Erzgebirge, etwa 50 km südwestlich von Dresden. Berg 785 m über NN |
| RWD | Radebeul, Altwahnsdorf 12, nahe Stadtrand von Dresden über Elbtal, 246 m über NN |
| BRO | Südwest-Sachsen, am Ortsrand von Brockau mit 520 Einwohnern, 422 m über NN |

Tabelle 3: Ergänzende Indikatoren für Verbrennungspartikel zur besseren Beurteilung der Umweltzone

| Indikator | Erläuterung |
|------------------------|--|
| BC _{PM1} | Rußkonzentration in µg/m ³ , gemessen als schwarzer Kohlenstoff mit BC-Automat MAAP 5012. Absorptionskoeffizient 6,6 m ² /g und Wellenlänge 637 nm. Probenahme i. d. R. über PM ₁ -Einlass. Wenn die Probenahme über einen PM ₁₀ -Einlass, dann erfolgte eine Umrechnung auf PM ₁ . Kontinuierliche Messung. Messwerte auf Betriebsbedingungen bezogen. |
| PN _{30-200nm} | Partikelanzahlkonzentration in 1/cm ³ von 30 bis 200 nm großen Partikeln, gemessen mit Mobilitätsspektrometer vom Typ SMPS oder TSMPS (gebaut von TROPOS). Probenahme über PM ₁ -Einlass mit Trocknung. Kontinuierliche Messung. Messwerte auf Betriebsbedingungen bezogen. |
| PM _{30-200nm} | Partikelmasse in µg/m ³ , die aus der Partikelgrößenverteilung PN _{30-200nm} für 30 bis 200 nm große Partikel berechnet wurde. Messwerte auf Betriebsbedingungen bezogen. |

Tabelle 4: Wichtige Immissions-Messgrößen im Überblick

| Abk. | NO ₂ , NO _x | PM ₁₀ | PM _{2,5} | Ruß-BC | PN _{30-200nm} |
|--------|-----------------------------------|------------------|-------------------|--------|------------------------|
| LMI | X | X | X | X | X |
| LLÜ | X | X | | | |
| LEI | | | | X | X |
| LWE | X | X | X | X | X |
| LTR | | | | X | X |
| DDN | X | X | X | X | X |
| DDB | X | X | X | | |
| DDW | X | X | X | X | X |
| MEL | X | X | X | X | X |
| COL | X | X | X | | |
| SWB | X | X | | | |
| RWD | X | X | | | |
| BRO | X | X | | | |
| Anzahl | 11 | 11 | 7 | 7 | 7 |

3 Rahmenbedingungen

3.1 Viele Einflussgrößen auf die Immissionen

Die in einem Jahr gemessenen Immissionen sind von einer Vielzahl von Einflussgrößen abhängig, wie einige Beispiele zeigen sollen.

Da sind die lokalen, regionalen und überregionalen Emissionsquellen. Es sind die Verursacher der Luftschadstoffe, die auf jeder territorialen Ebene nach Verursachergruppen, wie z. B. Industrie, Verkehr und Heizungsanlagen zusammengefasst werden können. Gelingt es lokale Emissionen zu mindern, so ergeben sich die größten Effekte für die Anwohner. Luftreinhaltepläne der Städte sollen dies vorrangig erreichen. Aber auch regionale und überregionale Minderungen führen über die Reduzierung der Hintergrundbelastung zu Minderungseffekten. Ein abgestimmtes Konzept auf verschiedenen Verantwortungsebenen (Stadt, Bundesland, angrenzende Länder, Deutschland, Europa) kann eine effektive Verbesserung der Luftqualität bewirken.

Veränderungen in den Verkehrsstärken führen zu veränderten Emissionen an den Straßen. Je weniger Kraftfahrzeuge, desto weniger Emissionen. Die Temperaturen im Winter führen zu den Heizungsemissionen. Je kälter der Winter, desto mehr Emissionen und je milder der Winter, desto weniger Emissionen. Auch Veränderungen der Bebauung im Rahmen der Stadtentwicklung nehmen langfristig Einfluss auf die Ausbreitungsbedingungen der Schadstoffe. Eine enge Straßenschlucht ist ungünstiger als eine offene Bebauung.

Die meteorologischen Ausbreitungsbedingungen modellieren die resultierenden Immissionen. Hohe Windstärken verdünnen die Schadstoffe, ein intensiver Regen wäscht die Atmosphäre aus, Inversionswetterlagen fördern sehr hohe Konzentrationen von Schadstoffen und in Trockenzeiten können insbesondere Partikel kleiner $PM_{2.5}$ sehr weit transportiert werden.

Die jährliche Variation all dieser Rahmenbedingungen erschwert die Analyse der Wirkung von Maßnahmen zur Luftreinhaltung.

3.2 Umsetzung von Maßnahmen der Luftreinhaltepläne

Luftreinhaltepläne enthalten eine Vielzahl von Maßnahmen. Meist sind es 50 und mehr Einzelmaßnahmen oder auch zu Maßnahmenbündeln zusammengefasste Einzelmaßnahmen. Einen Einblick in umgesetzte Maßnahmen der Luftreinhaltepläne in Leipzig und Dresden vermittelt Anlage 1.

Die verkehrsbezogene Einzelmaßnahme „Umweltzone“ wurde am 1.3.2011 in Leipzig realisiert. Die Umweltzone wurde von der Stadt Leipzig sofort mit Stufe „Grüne Plakette“ ohne Vorstufen angeordnet. Damit durften nur emissionsarme Fahrzeuge große Teile der Stadt Leipzig befahren. Über zeitlich begrenzte Ausnahmeregelungen wurden die Folgen des Fahrverbots für die betroffenen Fahrzeughalter gemildert. Nahezu alle Ausnahmeregelungen endeten mit Ablauf des Jahres 2014. Darüber hinaus gehende Ausnahmen waren bis einschließlich 2016 noch für Busse des ÖPNV möglich und werden ansonsten nur noch in besonderen Fällen bei sozialer oder wirtschaftlicher Härte erteilt. So ist davon auszugehen, dass sich im Laufe der Jahre 2010 bis 2016 die Wirkung der Umweltzone maximal entfaltet hat.

Gleichzeitig wurden und werden in Leipzig und Dresden weitere Maßnahmen der Luftreinhaltepläne zur Minderung der Luftbelastung umgesetzt (Anlage 1).

In Sachsen wurden von 2009 bis zum Jahr 2016 insgesamt rund 19.000 Partikelfilternachrüstungen bei PKW und leichten Nutzfahrzeugen durch den Bund gefördert, davon etwa 5.500 in Leipzig und 1.700 in Dresden [BAFA 2017]. Waren nach Angaben des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) im Jahr 2010 noch 19 % der PKW in Leipzig als Diesel [STADT LEIPZIG 2010] zugelassen, stieg dieser Anteil laut KBA im Jahr 2016 auf rund 26 % [STADT LEIPZIG 2017B].

3.3 Entwicklung der Verkehrsstärken

Die Verkehrszahlen wurden von den Stadtverwaltungen Leipzig und Dresden bereitgestellt und in die Datenbank zur Luftqualität des FS Sachsens aufgenommen, wobei Kfz-Zählstellen den verkehrsnahen Luftgütemessstationen zugeordnet wurden.

Die Verkehrsstärke wird z. B. als durchschnittlich täglicher Verkehr (DTV) angegeben. Die Anzahl der Fahrzeuge pro Tag wird dabei aufsummiert und aus den Tageswerten wird ein Mittelwert für das Jahr gebildet. Dabei werden hier alle Wochentage von Montag bis Sonntag berücksichtigt.

Der Gesamtverkehr (Kfz) schließt alle Fahrzeuge ein. Der Schwerverkehr (SV) ist eine Teilmenge vom Gesamtverkehr und umfasst LKW, LKW mit Anhänger, Lastzüge und Busse. Der Schwerverkehrsanteil ergibt sich aus dem Verhältnis von Schwerverkehr zu Gesamtverkehr.

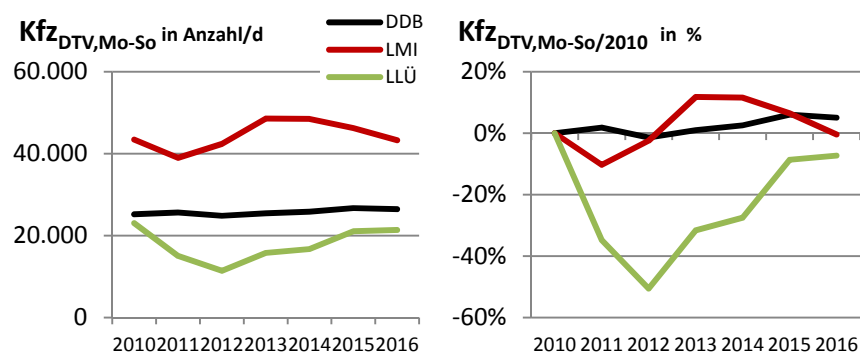


Abbildung 5: Jahresmittelwerte für den durchschnittlich täglichen Gesamtverkehr (Kfz) von 2010 bis 2016 und dessen relative Änderung gegenüber dem Bezugsjahr 2010

Für den **Gesamtverkehr (Kfz)** an den verkehrsnahen Luftgütemessstationen war über den Zeitraum 2010 bis 2016 eine klare Rangfolge vorhanden (Abbildung 5, links). An der Messstation LMI (Leipzig-Mitte) wurde stets die höchste Verkehrsstärke mit 39.000 bis 49.000 Kfz/d, an DDB (Dresden Bergstraße) eine mittlere Verkehrsstärke mit rund 25.000 bis 27.000 Kfz/d und an LLÜ (Leipzig Lützner Str.) die niedrigste Verkehrsstärke mit 11.000 bis 23.000 Kfz/d registriert.

Die Entwicklung von 2010 bis 2016 verlief an den Messstationen uneinheitlich. Während der Kfz-Verkehr in Dresden an DDB nahezu konstant blieb, wurden in Leipzig insbesondere an LLÜ größere Veränderungen ermittelt (Abbildung 5, rechts).

An **DDB** erhöhte sich der Verkehr leicht um 5 % 2016 gegenüber 2010. An **LMI** waren die Verkehrsstärken zu Beginn der Untersuchungen 2010 und am Ende der Untersuchungen 2016 auf gleichem Niveau. Zwischen- durch sank der Gesamtverkehr 2011 um 10 % und erhöhte sich um 12 % 2013 und 2014 gegenüber 2010. An

LLÜ reduzierte sich der Verkehr 2016 um 7 % gegenüber 2010. Zwischendurch gab es extreme Reduzierungen. 2011 sank der Verkehr um 35 % und 2012 um 51 %. Ab 2013 nahm der Gesamtverkehr wieder stetig zu. Die Veränderungen in Leipzig wurden u. a. durch Baumaßnahmen in der Stadt, direkte Straßenbaumaßnahmen und das Einfahrverbot in die Umweltzone für einen Teil der Fahrzeuge verursacht.

Für den **Schwerverkehr (SV)** gilt die gleiche Rangfolge wie für den Gesamtverkehr (vergl. Abbildung 5 und Abbildung 6, jeweils links). An LMI fuhr die größte Anzahl an Fahrzeugen, geringfügig weniger an DDB und die wenigsten an LLÜ. Die Unterschiede zwischen LMI und DDB waren jedoch nicht so groß, wie es der Gesamtverkehr erwarten ließ. An LMI wurden 1.500 bis 1.100 und an DDB etwa 900 bis 1.000 SV-Fahrzeuge pro Tag registriert. An LLÜ führen die wenigsten mit 200 bis 800 SV-Fahrzeugen pro Tag. Der Verlauf der Jahreswerte für den Schwerverkehr folgte grob der Entwicklung des Gesamtverkehrs (Abbildung 5). Das Maß der Änderungen war für den Schwerverkehr meist stärker (vergl. Abbildung 5, links und Abbildung 6, Mitte). An **LMI** sank der SV 2011 mit Einführung der Umweltzone um 28 %. In diesem Jahr besaßen 3/4 der SV-Fahrzeuge in Leipzig keine grüne Plakette und waren 2011 vom Einfahrverbot in die Umweltzone erstmalig betroffen. Die Umweltzone trug vermutlich wesentlich zur Reduzierung des SV bei. Danach stieg der SV wieder an. Möglicherweise trug der Start der Fernlinienbusse ab Hauptbahnhof Leipzig zum Anstieg 2012 und 2013 bei. Im Unterschied zum Gesamtverkehr verblieb der Schwerverkehr 2015 und 2016 noch 19 % unter dem Niveau von 2010.

An **LLÜ** erfolgte eine sehr starke Reduzierung des Schwerverkehrs in 2011 um 50 % und 2012 sogar um 70 % gegenüber 2010. Straßenbaumaßnahmen mit teilweiser Sperrung der Straße waren dort die wesentlichste Ursache für die Veränderungen. In den Folgejahren stieg der SV kontinuierlich an. 2016 lag der SV um 17 % unter dem Niveau von 2010.

DDB ist die einzige Messstation, an der sich der Schwerverkehr nur wenig änderte. Maximale Änderungen waren -8 % (2012) und +4 % (2011, 2015). 2016 erhöhte sich der SV um 2 % gegenüber 2010.

Der **Schwerverkehrsanteil** war mit kleiner als 4 % generell gering (Abbildung 6, rechts). Er war an **DDB** mit 3,9 % am größten, blieb dort nahezu konstant und sank nur geringfügig 2016 auf 3,8 %. Der SV-Anteil an **LMI** lag 2010 bei 3,4 % und sank danach. Das Minimum war 2014 mit 2,5 % erreicht. Danach stieg er wieder an und hatte mit 2,8 % den geringsten Anteil im Vergleich der drei Messstationen. An **LLÜ** betrug der SV-Anteil 2010 3,5 %. Das Minimum war 2012 wie beim Gesamtverkehr. Danach war wieder ein kontinuierlicher Anstieg auf 3,1 % 2016 zu verzeichnen.

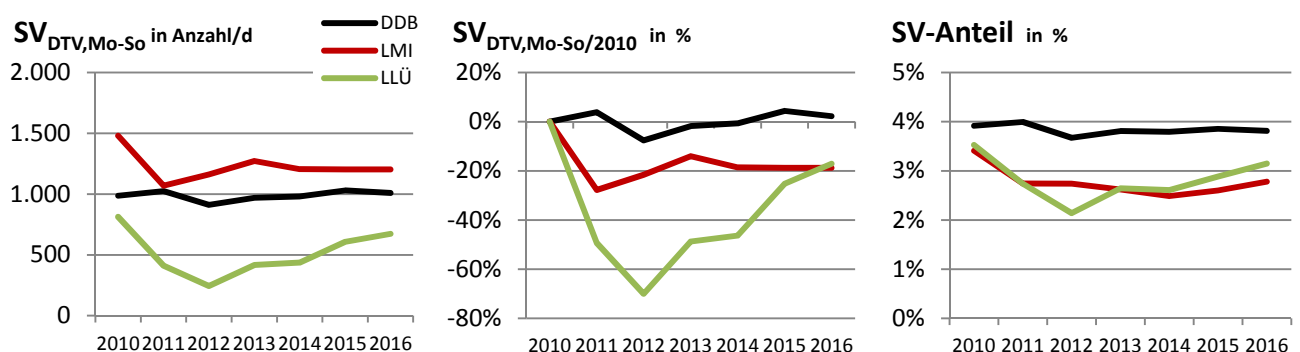


Abbildung 6: Jahresmittelwerte für den durchschnittlich täglichen Schwerverkehr (SV) und dessen relative Änderung gegenüber dem Bezugsjahr 2010 sowie der Anteil des SV am Gesamtverkehr von 2010 bis 2016

Der mittlere Tagesgang von Montag bis Sonntag – kurz **mittlerer Wochengang** – ist eine statistische Auswertung, um ein allgemeingültiges Muster (Signatur) der Wochentage darzustellen. Dabei gehen alle 1 h - Messdaten eines Jahres ein. Die hohe zeitliche Auflösung der Messdaten ermöglicht die Diskussion mit mittleren Wochengängen der Schadstoffkonzentrationen (Kap. 4.2).

Der Verlauf der Verkehrsstärken für den Gesamt- und Schwerverkehr von Leipzig-Mitte (LMI) wird in Abbildung 7 gezeigt. In den frühen Morgenstunden traten die geringsten Verkehrsstärken auf. Danach folgte ein steiler Anstieg des Verkehrsaufkommens.

Das morgendliche Maximum für den **Gesamtverkehr** (Kfz) lag am Montag im Zeitraum von 7 bis 9 Uhr, der auch als morgendliche Hauptverkehrszeit gilt. Ein lokales Minimum von 12 bis 13 Uhr folgte mit leicht zurück gehendem Gesamtverkehr. Mit dem zweiten Maximum von 15 bis 17 Uhr schloss sich die Hauptverkehrszeit am Nachmittag an. Die Tage Montag bis Freitag zeigten einen sehr ähnlichen Verlauf der Verkehrsstärken im Gegensatz zum Wochenende. Am Samstag reduzierten sich die Verkehrsstärken. Am Sonntag war der Tag mit den geringsten Verkehrsstärken.

Die Teilmenge **Schwerverkehr** (SV) hat ebenfalls in den frühen Morgenstunden das Minimum. Das Maximum war etwas später von 8 bis 11 Uhr. Der Schwerverkehr reduzierte sich am Wochenende besonders deutlich. Durch das sonntägliche LKW-Fahrverbot waren im Tagesmaximum deutlich weniger Fahrzeuge gegenüber dem Maximum an den Tagen Montag bis Freitag unterwegs. Auch war der Zeitraum für das morgendliche Minimum der Verkehrsstärken am Sonntag deutlich länger.

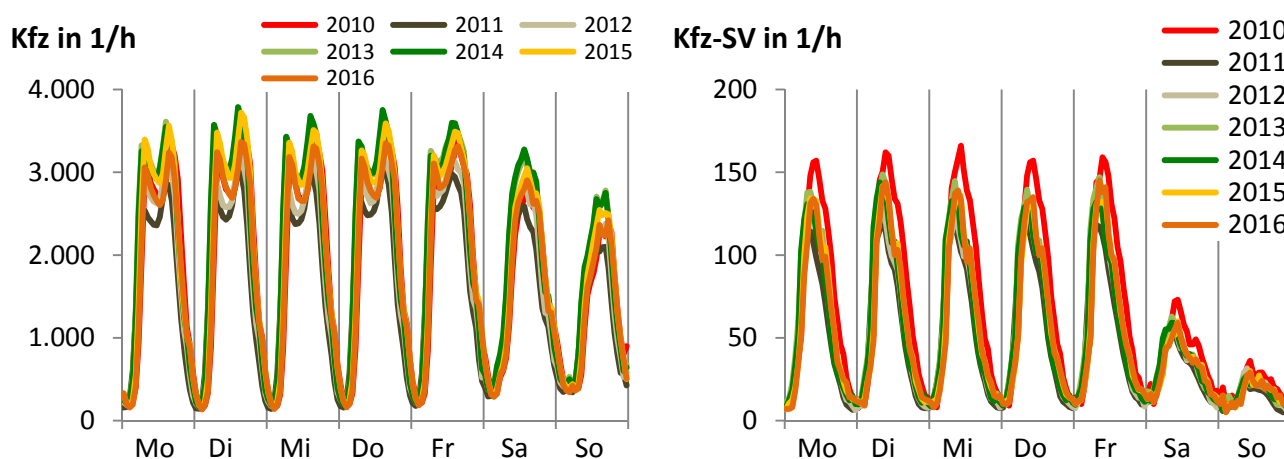


Abbildung 7: Mittlerer Wochengang für Gesamtverkehr (Kfz) und Schwerverkehr (SV) in der Nähe der Luftgütemessstation Leipzig-Mitte von 2010 bis 2016

Das Verkehrs- und Tiefbauamt (VTA) schätzt zur Verkehrszählung in Leipzig ein, dass die allgemeine Kfz-Verkehrsentwicklung der letzten Jahre aufgrund der zahlreichen Baumaßnahmen an zentralen Verkehrsstraßen relativ schwierig zu beurteilen ist.

An der Messstation **DDN** liegen leider keine konsistenten Datenreihen zu den Verkehrsstärken vor, die in die Auswertung einfließen könnten. Dennoch wird eine Orientierung gegeben. Die Stadtverwaltung rechnet im Luftreinhalteplan Dresden mit einer Reduzierung des Schwerverkehrs um rund 30 % und des Gesamtverkehrs um etwa 3 % gegenüber 2010 an DDN.

3.4 Meteorologische Bedingungen

Die Luftqualität wird stark von meteorologischen Rahmenbedingungen beeinflusst. Sowohl der Ausstoß von Luftschadstoffen, wie z. B. durch verstärktes Heizen bei tiefen Temperaturen als auch deren Ausbreitung in der Atmosphäre (z.B. Wetterlagen, Inversion, Windgeschwindigkeit) sind unmittelbar mit dem Witterungsverlauf verbunden [LfULG 2017].

Die Einordnung der Meteorologie in Sachsen erfolgte über berechnete Abweichungen für das jeweilige Jahr gegenüber dem 30-jährigen Flächenmittel von 1961 bis 1990 in Tabelle 5 und grafisch in Abbildung 8.

Im Jahr 2010, dem Jahr der Ausgangsbeurteilung vor Einführung der Umweltzone war die Abweichung der Temperatur mit -0,7 K negativ und der Winter war mit -1,2 K auch sehr kalt. Alle folgenden Jahre hatten eine positive Abweichung. Das Jahr 2014 war sogar das wärmste Jahr und 2015 das zweitwärmste Jahr seit 1881 [FRANCKE 2016]. Das bedeutet, dass mit der Umweltzone in den Jahren 2011 bis 2016 kleinere Immissionen für heizungsbedingte Komponenten wie z.B. Feinstaub PM₁₀, PM_{2,5} und Ruß allein durch die mittlere Temperatur zu erwarten waren. Besonders in den letzten drei Jahren von 2014 bis 2016 bildeten die milden Winter (+1,1 K bis +3,0) und wenig kontinentale Ostwetterlagen die Rahmenbedingungen für eher niedrigere Emissionen und Immissionen in Sachsen (Abbildung 8, links).

Bei der Interpretation der Jahresmittelwerte der Immissionen muss der Minderungsanteil durch den günstigen Temperaturverlauf nach Einführung der Umweltzone beachtet werden.

Tabelle 5: Abweichungen meteorologischer Parameter 2010 bis 2016 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990

| Jahr | Abweichungen der Jahresmittelwerte für | | | Abweichungen der Wintermittelwerte für | | |
|------|---|------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------|-----------------------------------|
| | Temperatur ΔT in K | Niederschlag ΔR in % | Sonnenscheindauer ΔS in % | Temperatur ΔT in K | Niederschlag ΔR in % | Sonnenscheindauer ΔS in % |
| 2010 | -0,7 | 41 | 1 | -1,2 | 19 | 5 |
| 2011 | 1,3 | 0 | 28 | 1,6 | -31 | 56 |
| 2012 | 0,8 | 4 | 14 | 0,7 | 8 | 21 |
| 2013 | 0,3 | 13 | -4 | -0,2 | -9 | -16 |
| 2014 | 2,0 | -11 | 7 | 3,0 | -48 | 26 |
| 2015 | 1,8 | -9 | 20 | 2,7 | -7 | 38 |
| 2016 | 1,3 | 2 | 6 | 1,1 | -5 | 8 |

* Der Wintermittelwert wurde hier definiert vom 1.1. bis 30.4. und 1.11. bis 31.12. des Kalenderjahres, um mit den Jahresmittelwerten der Immissionsgrößen vergleichbar zu sein.

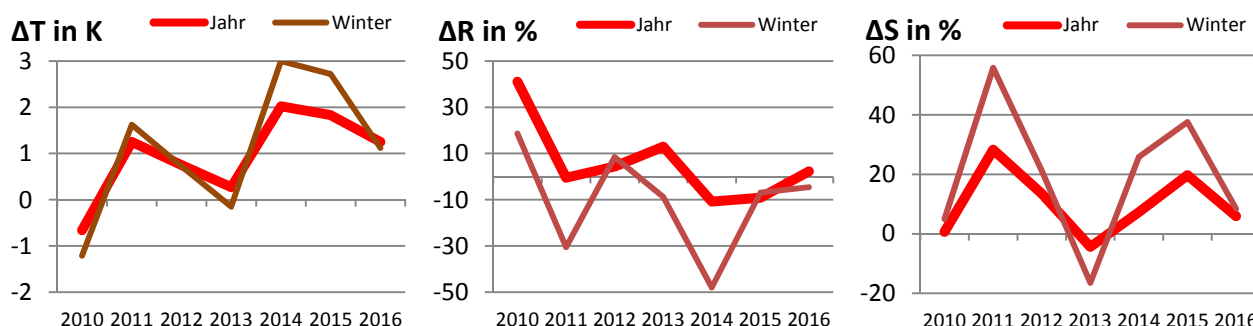


Abbildung 8: Abweichungen meteorologischer Parameter ΔT , ΔR und ΔS von 2010 bis 2016 gegenüber dem Referenzzeitraum 1961-1990

4 Ergebnisse der Immissionsmessungen von 2010 bis 2016 und deren Diskussion

4.1 Jahresmittelwerte

4.1.1 Gesetzlich vorgegebene Immissionsmessgrößen PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ und NO_x

Zunächst wird ein Überblick über die allgemeine Entwicklung der Luftschadstoffe anhand der gemittelten Konzentrationen an den Messstationstypen gegeben. Danach wird auf die Entwicklung an den einzelnen verkehrsnahen Messstationen eingegangen, um die lokalen Entwicklungen der Belastungen zu diskutieren.

Entwicklung an den Messstationstypen

Bei den Messstationstypen werden die Ergebnisse einzelner Messstationen nach der Messstationstypisierung (Tabelle 1) zusammengefasst. Hier werden die Messstationstypen „Städtische Straße“, „Städtischer Hintergrund“ und „Regionaler Hintergrund“ betrachtet. Die Entwicklung der gemittelten Jahresmittelwerte an den drei Messstationstypen für die Luftschadstoffe PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ und NO_x wird jeweils auf der linken Seite in Abbildung 9 gezeigt.

Die mit Abstand höchsten Konzentrationen waren stets über alle Jahre am Messstationstyp „Städtische Straße“ vorhanden. Der Typ „Städtischer Hintergrund“ lag deutlich darunter. Am kleinsten waren die Konzentrationen beim Typ „Regionaler Hintergrund“. Für PM_{2.5} waren die Unterschiede zwischen den beiden Hintergrundtypen sehr gering.

Der Verlauf der Jahresmittelwerte von 2010 bis 2016 zeigt einen Abfall der Konzentrationen für alle Luftschadstoffe. Dabei verlief der Abfall für die einzelnen Luftschadstoffe unterschiedlich. Er war z. B. für NO₂ recht kontinuierlich, aber für PM₁₀ und PM_{2.5} mit deutlichen Schwankungen versehen. So wurde für PM₁₀ 2011 eine leichte Erhöhung, 2012 eine deutliche Reduzierung, 2014 wieder eine Erhöhung und 2015 und 2016 eine deutliche Reduzierung gegenüber dem jeweiligen Vorjahr festgestellt. Weil für PM₁₀ und PM_{2.5} die Schwankungen synchron an den drei Messstationstypen „Städtische Straße“, „Städtischer Hintergrund“ sowie „Regionaler Hintergrund“ und somit großflächig registriert wurden, ist hier der Einfluss der jährlich schwankenden meteorologischen Rahmenbedingungen auf den PM₁₀- und PM_{2.5}- Jahresmittelwert gut zu erkennen, wobei die lokal ergriffenen Maßnahmen zur Luftreinhaltung dabei eher „untergehen“. Dieser Einfluss erschwert generell die Interpretation von Immissionen.

Die regionale Hintergrundkonzentration wird durch eine sehr große Anzahl an Emissionsquellen unterschiedlicher Art beeinflusst. Es sind lokale, regionale und überregionale Quellen, die über den Ferntransport von Luftschadstoffen zu den Immissionen beitragen. Auch sind Anteile durch die Emissionen der Städte Leipzig und Dresden darin enthalten.

Gleichzeitig wird die regionale Hintergrundkonzentration als Grundbelastung im Stadtgebiet nach dem Lenschow-Ansatz interpretiert. Das allgemeine Sinken der regionalen Hintergrundbelastung lieferte damit auch einen Beitrag zur sinkenden Belastung sowohl im städtischen Hintergrund als auch an den städtischen Straßen. Ob die Reduzierung der regionalen Hintergrundbelastung hauptsächlich durch die zufällig günstigen meteorologischen Rahmenbedingungen 2012 bis 2016 verursacht wurde oder ob dies der Beginn einer nachhaltigen Schadstoffkonzentrationsminderung war, kann heute noch nicht beurteilt werden. Die sichere Bewertung wird erst in einigen Jahren möglich sein.

Im Zeitraum von 2010 bis 2016 wurden die größeren absoluten Reduzierungen für Gase und Partikel am Messstationstyp „Straße“ gegenüber dem Hintergrund festgestellt. Dies zeigt, dass es durch lokale Maßnahmen der Städte Verbesserungen in der Luftqualität im Mittel am Straßenrand gab. An der Straße waren die mittleren Minderungen für Partikel mit 32 % $PM_{2.5}$ und 24 % PM_{10} deutlich größer als für die gasförmigen Schadstoffe mit 12 % NO_2 und 8 % NO_x . Am Straßenrand wurden somit für die Partikel größere Fortschritte als für die gasförmigen Stickstoffoxide registriert.

Die mittleren Minderungen im regionalen Hintergrund waren mit 23 bis 24 % für die Gase und Partikel identisch. Sie zeigen, dass europäische Maßnahmen zur Luftreinhaltung greifen und auch günstige meteorologische Bedingungen (milde Winter, wenig Ostwetterlagen) zu geringeren Jahresmittelwerten führten.

Entwicklung an einzelnen Messstellen vom Typ „Städtische Straße“

Die Jahresmittelwerte 2010 bis 2016 der verkehrsnahen Messstellen werden in Abbildung 9 in der Mitte als absolute Werte und rechts als prozentuale Änderung gegenüber dem Bezugsjahr 2010 gezeigt.

Feinstaub PM_{10} reduzierte sich von 2010 bis 2016 an den Messstellen in Dresden (DDN, DDB) und Leipzig (LMI, LLÜ) um 6 bis 8 $\mu g/m^3$ bzw. um 18 bis 27 %. An DDN, DDB und LLÜ gab es einen nahezu ähnlichen Verlauf der prozentualen Veränderungen gegenüber dem Bezugsjahr 2010. Dabei wurde an LLÜ die deutliche Reduzierung des Kfz-Verkehrs (vergl. 3.3) nicht in einer deutlichen PM_{10} -Änderung wiedergefunden. An LMI fielen 2011 und 2012 um 10 % erhöhte Werte gegenüber den anderen Messstationen auf. Diese PM_{10} -Erhöhung konnte maßgeblich auf Baumaßnahmen in der Nähe der Messstationen zurückgeführt werden (vergl. LÖSCHAU [2012] und [2013]).

Feinstaub $PM_{2.5}$ reduzierte sich von 2010 bis 2016 an den Messstellen in Dresden (DDN, DDB) und Leipzig (LMI) ebenfalls um 6 bis 8 $\mu g/m^3$. Ein sehr ähnlicher Verlauf an den drei Verkehrs-Messstationen wird festgestellt, wobei an LMI wurde die größte Minderung mit 34 % bzw. 8 $\mu g/m^3$ nachgewiesen wurde.

Für **Stickstoffdioxid NO_2** wurde eher ein uneinheitlicher Verlauf der Jahresmittelwerte an den vier verkehrsnahen Messstationen ermittelt. An LLÜ wurde 2012 mit dem Minimum der Kfz-Zahlen (Vergl. Abbildung 5 und Abbildung 6) auch das Minimum der NO_2 -Konzentration nachgewiesen. An LMI und DDB wurde bis 2013 ein nahezu ähnlicher Verlauf der höchsten Jahresmittelwerte mit einer leichten Reduzierung um 3 $\mu g/m^3$ (-6 %) gegenüber 2010 festgestellt. Im Jahr 2014 hingegen trennten sich die Verläufe. Der NO_2 -Jahresmittelwert 2014 erhöhte sich an DDB und sank an LMI. An DDN verringerte sich die NO_2 -Konzentration kontinuierlich und erreichte 2016 die größte Reduzierung mit 21 % bzw. 8 $\mu g/m^3$ gegenüber 2010.

Für die **Stickoxide NO_x** wurden an DDB die mit Abstand höchsten Jahresmittelwerte auf nahezu konstantem Niveau von 2010 bis 2016 festgestellt. Dies ist plausibel mit den konstant hoch gebliebenen Kfz-Zahlen an DDB. An LLÜ die deutliche NO_x -Abnahme durch die erhebliche Abnahme der Kfz-Zahlen bis 2012 verursacht. Die NO_x -Werte folgten sehr stark den nach 2012 wieder angestiegenen Kfz-Zählwerten. 2016 wurde das gleiche NO_x -Niveau wie 2010 erreicht, wobei gleichzeitig der Kfz-Gesamtverkehr um 7 % und der Schwerverkehr um 17 % in der Straßenschlucht geringer waren.

An DDN verringerte sich die NO_x -Konzentration kontinuierlich um 20 % gegenüber 2010. Leider werden dort keine Kfz-Zählwerte mehr erhoben. Es wird aber vermutet, dass die NO_x -Minderung durch eine Abnahme der Verkehrsstärke, insbesondere durch Reduzierung des Schwerverkehrs an DDN verursacht wurde.

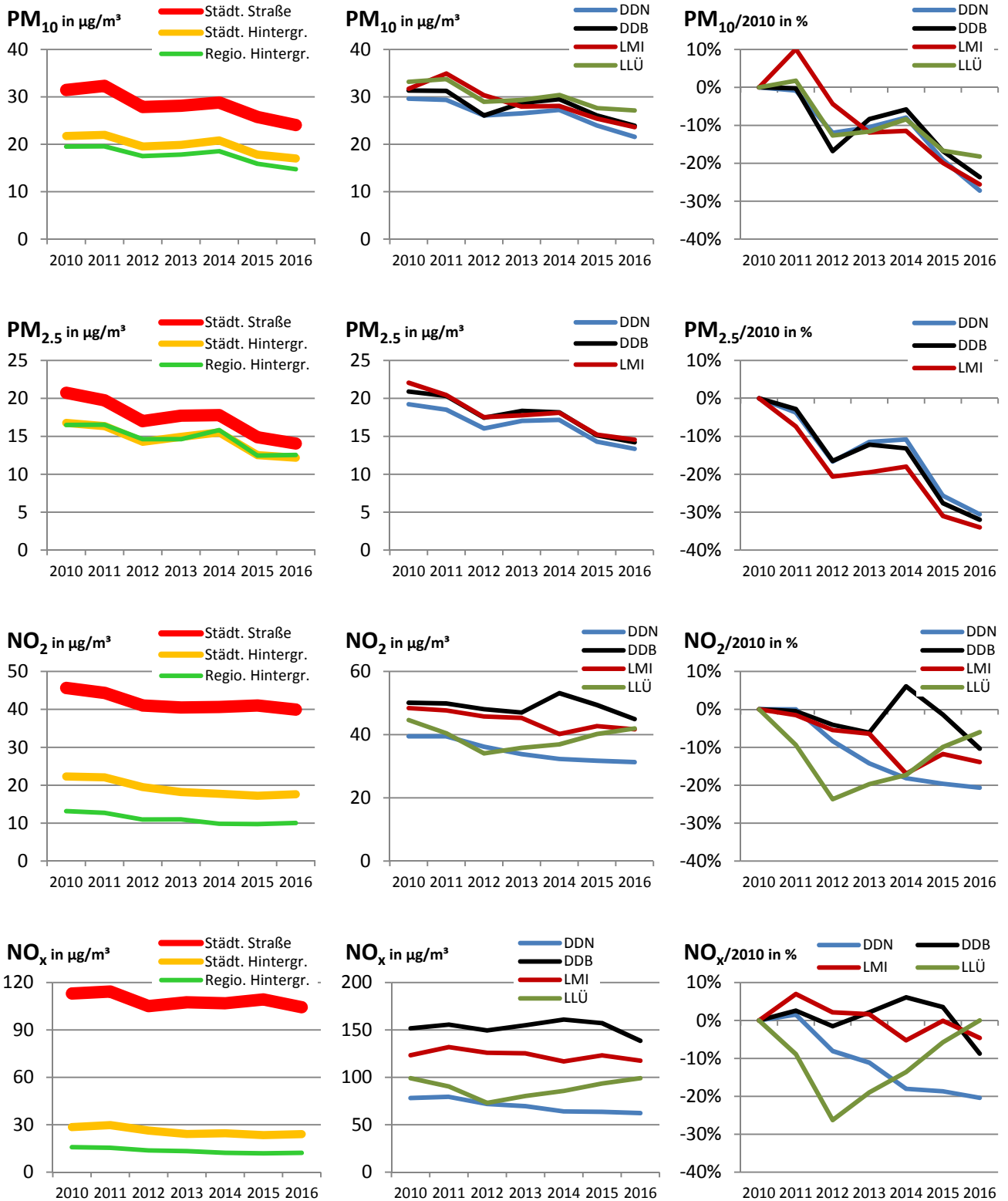


Abbildung 9: Entwicklung der Konzentrationen an den Stationstypen (links), an den straßennahen Stationen (Mitte) und deren prozentuale Änderungen gegenüber 2010 (rechts) für die gesetzlich vorgegebenen Immissionsmessgrößen PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂ und NO_x von 2010 bis 2016

Ein Zusammenhang zwischen **Kfz-Zählwerten** und gemessenen Konzentrationen ist für die Gase NO_2 und NO_x gut erkennbar, aber nicht für die Partikel PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$. Dieses Ergebnis entspricht den bekannten Beiträgen des lokalen Straßenverkehrs zur Luftbelastung vor Ort (vergl. Kap. 3.3 und Kap. 4.3)

4.1.2 Ergänzende wissenschaftliche Immissionsmessgrößen BC, $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ und $\text{PM}_{30-200\text{nm}}$

Die Entwicklung der Konzentrationen von 2010 bis 2016 wird in Abbildung 10 auf der linken Seite für die Messstationstypen sowie in der Mitte und rechts für die einzelnen verkehrsnahen Messstationen gezeigt.

Entwicklung an den Messstationstypen

Die mit Abstand höchsten Konzentrationen waren stets über alle Jahre am Messstationstyp „Städtische Straße“ vorhanden. Der Typ „Städtischer Hintergrund“ lag deutlich darunter. Am kleinsten waren die Konzentrationen beim Typ „Regionaler Hintergrund“.

Am Messstationstyp „**Städtische Straße**“ wurde für die wissenschaftlichen Sondermessgrößen eine meist stetige Reduzierung der Jahresmittelwerte von 2010 bis 2016 festgestellt. Ein zeitweiser deutlicher Anstieg im Verlauf, wie er für PM_{10} im Jahr 2011 (Abbildung 9) beobachtet wurde, war nicht vorhanden. Das Maß der Reduzierung war an den verkehrsnahen Messstellen hoch. Von 2010 bis 2016 reduzierte sich BC um $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 46 %, $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ um $2.300 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ bzw. 32 % und für $\text{PM}_{30-200\text{nm}}$ um $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 34 %.

Die absoluten Reduzierungen für BC, $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ und $\text{PM}_{30-200\text{nm}}$ am Typ „Städtische Straße“ waren höher als für die Typen „Städtischer Hintergrund“ und „Regionaler Hintergrund“. Die höhere Reduzierung am Typ „Städtische Straße“ dokumentiert, dass die lokalen Minderungsmaßnahmen im Bereich Straßenverkehr in der Stadt im Mittel wesentlich zur Verbesserung der Immissionssituation beitragen. Sie können durch die wissenschaftlichen Sondermessgrößen BC, $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ und $\text{PM}_{30-200\text{nm}}$ sehr empfindlich dargestellt werden.

Entwicklung an den einzelnen Messstellen vom Typ „Städtische Straße“

Die Entwicklung der Konzentrationen für die einzelnen verkehrsnahen Messstationen von 2010 bis 2016 wird in Abbildung 10 in der Mitte als Jahresmittelwerte und rechts als relative Änderung gegenüber 2010 gezeigt.

Für **Ruß als BC** wurde eine deutliche absolute und relative Reduzierung der Jahresmittelwerte für DDN, LMI und LEI dokumentiert. An DDB liegen leider keine Messungen vor, deshalb ist LMI hier die am höchsten belastete Messstation von 2010 bis 2016. Für LMI wurde die größte absolute Minderung mit $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt. DDN lag mit einer Reduzierung um $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nur knapp darunter. Die größte relative Minderung wurde an DDN ermittelt. Sie bezieht sich jedoch auf ein deutlich geringeres Ausgangsniveau im Jahr 2010 gegenüber LMI.

Für die Messgröße **Anzahlkonzentration der Partikel mit Durchmesser von 20 bis 300nm** $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ wurde ebenfalls eine deutliche absolute und relative Reduzierung der Jahresmittelwerte an DDN, LMI und LEI von 2010 bis 2016 registriert, allerdings mit größerer Unstetigkeit in den Jahren dazwischen. An DDB liegen leider keine Messungen vor. An LMI reduzierte sich die Konzentration stetig und 2016 wurde eine Minderung um 44 % erreicht. Es war die mit Abstand höchste relative und absolute Minderung der drei verkehrsnahen Messstationen (Abbildung 10, Mitte und rechts).

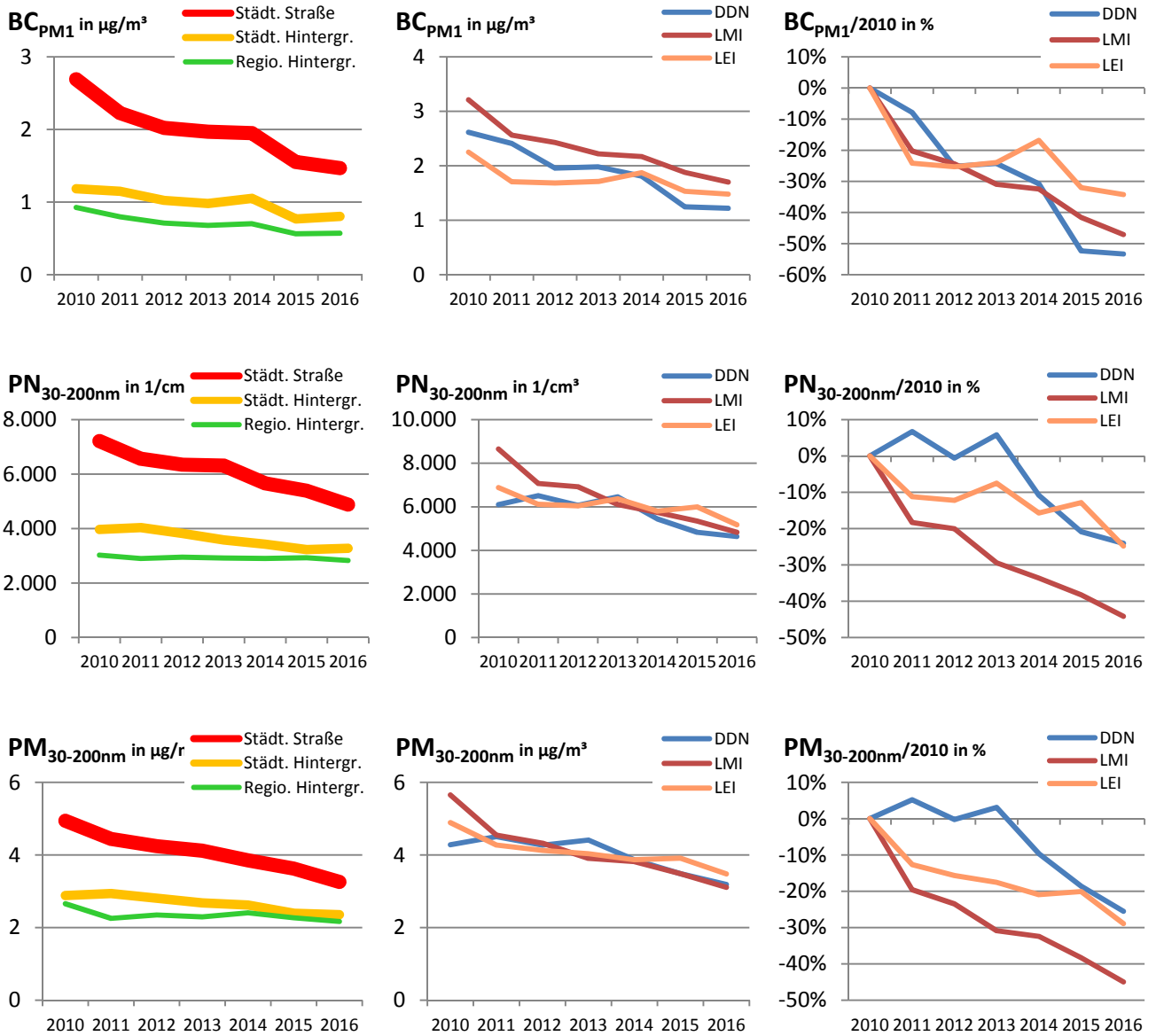


Abbildung 10: Entwicklung der Konzentrationen an den Stationstypen (links), an den straßennahen Stationen (Mitte) und deren prozentuale Änderungen gegenüber 2010 (rechts) für die ergänzenden wissenschaftlichen Messgrößen BC_{PM1}, PN_{30-200nm} und PM_{30-200nm} von 2010 bis 2016

Für die Berechnungsgröße **Massenkonzentration der Partikel mit Durchmesser von 20 bis 300nm** **PM_{30-200nm}** wurde ebenfalls eine deutliche absolute und relative Reduzierung der Jahresmittelwerte an DDN, LMI und LEI von 2010 bis 2016 registriert. An LMI reduzierte sich die Konzentration stetig und war absolut und relativ am größten. 2016 wurde eine Minderung an LMI um 45 %, an LEI um 29 % und an DDN um 25 % gegenüber 2010 nachgewiesen.

4.2 Mittlerer Wochengang

Der mittlere Tagesgang von Montag bis Sonntag – kurz mittlerer Wochengang – ist eine statistische Auswertung, um ein allgemeingültiges Muster (Signatur) der Wochentage darzustellen. Dabei gehen alle 1 h-Messdaten eines Jahres ein. Die hohe zeitliche Auflösung der Messdaten ermöglicht die Interpretation von Tagesverläufen der Konzentration.

Der mittlere Wochengang für die sieben Jahre von 2010 bis 2016 wird in Anlage 4 für jede einzelne Messstation dargestellt. Es wird die Entwicklung für die Gase NO_2 und NO_x sowie für die Partikel PM_{10} , Ruß-BC und Partikelanzahl $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ gezeigt. Im Gegensatz dazu wird hier im Text nur auf eine Messstation eingegangen.

Die Ergebnisse zur wichtigsten Messstation **Leipzig-Mitte (LMI)** im Zentrum der Umweltzone wird in Abbildung 11 für die wissenschaftlichen Sondermessgrößen und in Abbildung 12 für die gesetzlichen Überwachungsgrößen gezeigt. Der rote Konzentrationsverlauf kennzeichnet jeweils die Ausgangssituation 2010 vor der Umweltzone. Farblich verschieden folgen die jährlichen mittleren Konzentrationsverläufe 2011 bis 2016 nach Einführung der Umweltzone.

Zunächst sollen die Sondermessgrößen **Ruß-BC** und **Partikelanzahl $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$** betrachtet werden (Abbildung 11). Beide Parameter zeigen sehr ähnliche mittlere Konzentrationsverläufe für die Jahre 2010 bis 2016. Für die Ausgangsbeurteilung 2010 ist die typische verkehrsgeprägte Signatur besonders gut erkennbar (vgl. Abbildung 7). Dem Minimum in den ersten Stunden des Tages mit dem Minimum der Verkehrsstärke folgt ein steiler Anstieg der Konzentrationen durch die morgendliche Hauptverkehrszeit mit extrem vielen Fahrzeugen, die zum jeweiligen Maximum der Konzentration an den Tagen Montag bis Freitag führen. Mittags wird meist ein lokales Minimum auf hohem Niveau registriert, wie für beide Messgrößen z.B. am Dienstag gut erkennbar ist. Der Tagesgang für die Durchmischung der Atmosphäre spielt für die resultierenden Immissionen eine wichtige Rolle. Deshalb ist auch das Maximum der Immission am Nachmittag nicht so ausgeprägt, wie es die Verkehrsstärken erwarten lassen. Abends sinken die Konzentrationen mit dem nachlassenden Verkehr. Am Samstag und Sonntag wurden geringere Konzentrationen registriert ähnlich den geringeren Verkehrsstärken. Das frühmorgendliche Minimum der Immissionen am Sonntag ist deutlich später als an den Wochentagen.

Nach 2010 werden die Konzentrationen von Jahr zu Jahr tendenziell tagsüber systematisch kleiner. An den Tagen Montag bis Freitag mit hohem Verkehrsaufkommen ist dies besonders gut erkennbar. An diesen Tagen reduzierte sich das morgendliche Maximum auf weniger als die Hälfte der Konzentration von 2010, wie z.B. am Montag leicht sichtbar wird. Im frühmorgendlichen Konzentrationsminimum ist von 2010 bis 2016 eine leicht fallende Tendenz erkennbar. Dieses Minimum kann auch als Grundbelastung (fast) ohne Verkehr interpretiert werden. Wenn also in der Grundbelastung nur geringe absolute Änderungen erkennbar sind, dann ist es naheliegend, dass die deutlichen Reduzierungen der hohen Konzentrationen tagsüber von 2010 bis 2016 im Wesentlichen auf Veränderungen der Emissionen der tagsüber in großer Anzahl vorbeifahrenden Fahrzeuge zurückzuführen sind. Eine Verursacheranalyse in Kapitel 4.3 wird dies klären.

Das Beispiel an der verkehrsnahen Messstelle LMI zeigt gleichzeitig, dass mit $\text{BC}_{\text{PM}_{10}}$ und $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ zwei unabhängige Messverfahren zur empfindlichen Beurteilung von Veränderungen sehr kleiner Partikel in der Außenluft bereitgestellt werden können. Beide Messgrößen messen verschiedene Messobjekte und dennoch ist der Konzentrationsverlauf des mittleren Wochenganges einschließlich der systematischen Veränderungen der einzelnen Jahre für $\text{BC}_{\text{PM}_{10}}$ und $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ sehr ähnlich (Abbildung 11).

Die Ergebnisse für die statistische Auswertung der **gesetzlichen Überwachungsmessgrößen PM_{10} , NO_2 und NO_x** werden in Abbildung 12 dargestellt. Eine klare systematische Reduzierung der Konzentrationsverläufe an den Tagen Montag bis Freitag von 2010 bis 2016 ähnlich wie bei den Sondermessgrößen in Abbildung 11 ist nicht zu erkennen. Während für NO_2 und NO_x die Signatur mit kleinen Schwankungen recht konstant

bleibt, sind für PM_{10} Änderungen der täglichen Signatur z. T. erkennbar, wie z. B. am Montag der Konzentrationsverlauf für 2010 und 2011 deutlich zeigt. Dort dominierte eindeutig der Einfluss nichtstraßenverkehrsbedingter Quellen.

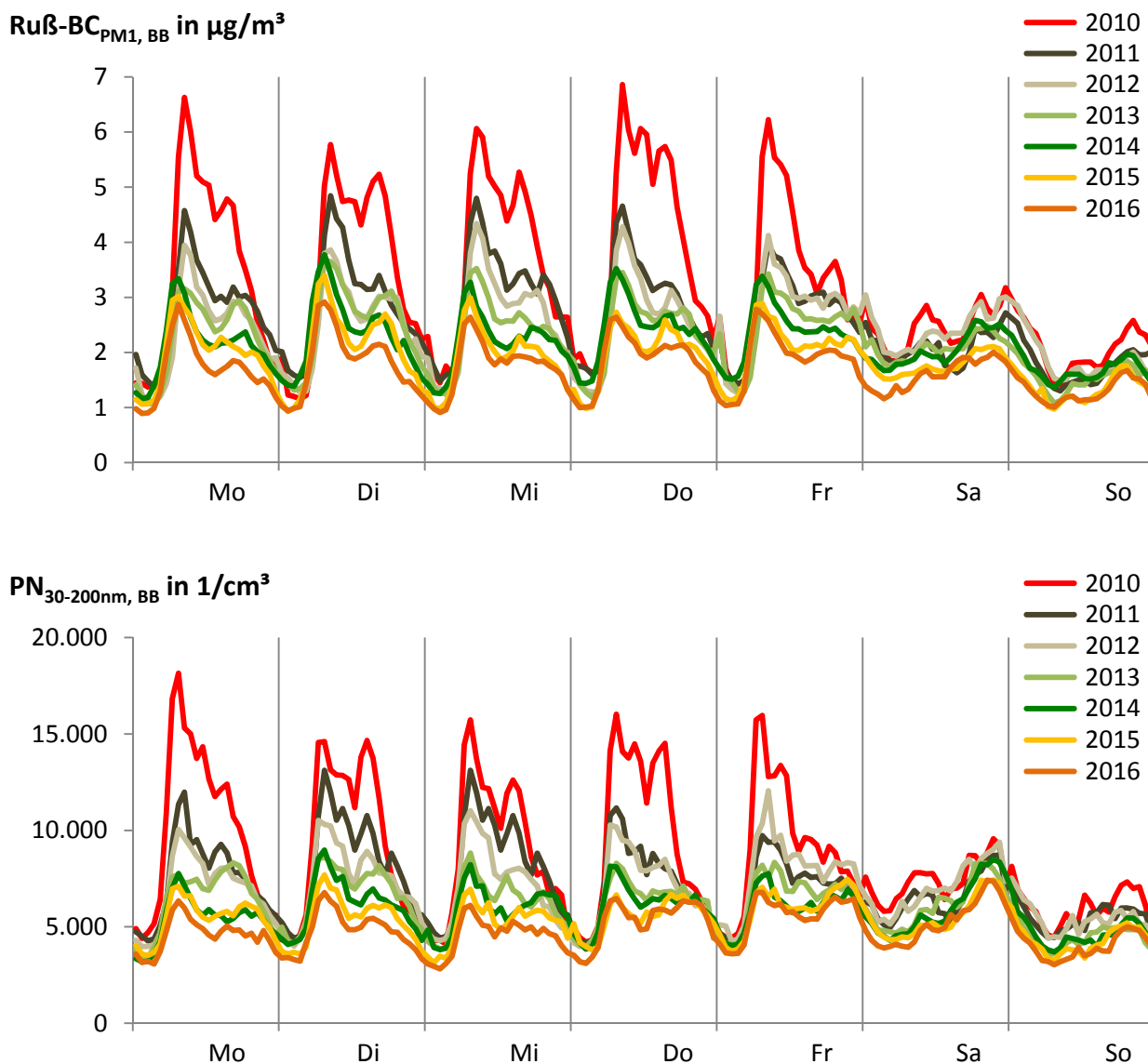


Abbildung 11: Mittlerer Tagesgang der Woche für die Konzentrationen von Ruß und Partikel von 30 bis 200 nm an Leipzig-Mitte vor Einführung der Umweltzone 2010 und in den Jahren danach bis 2016

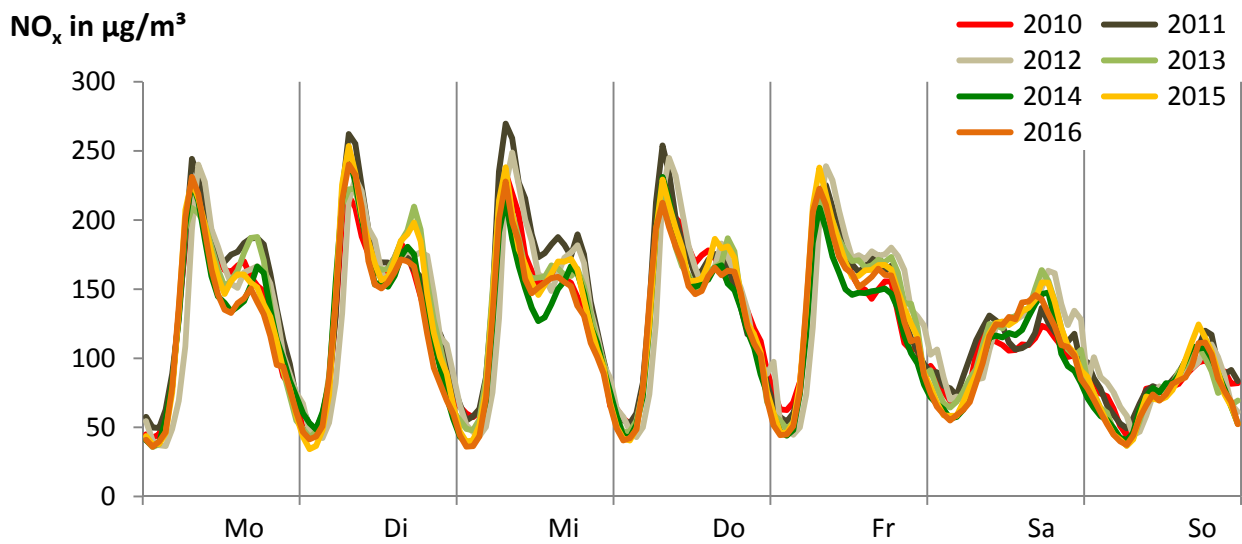
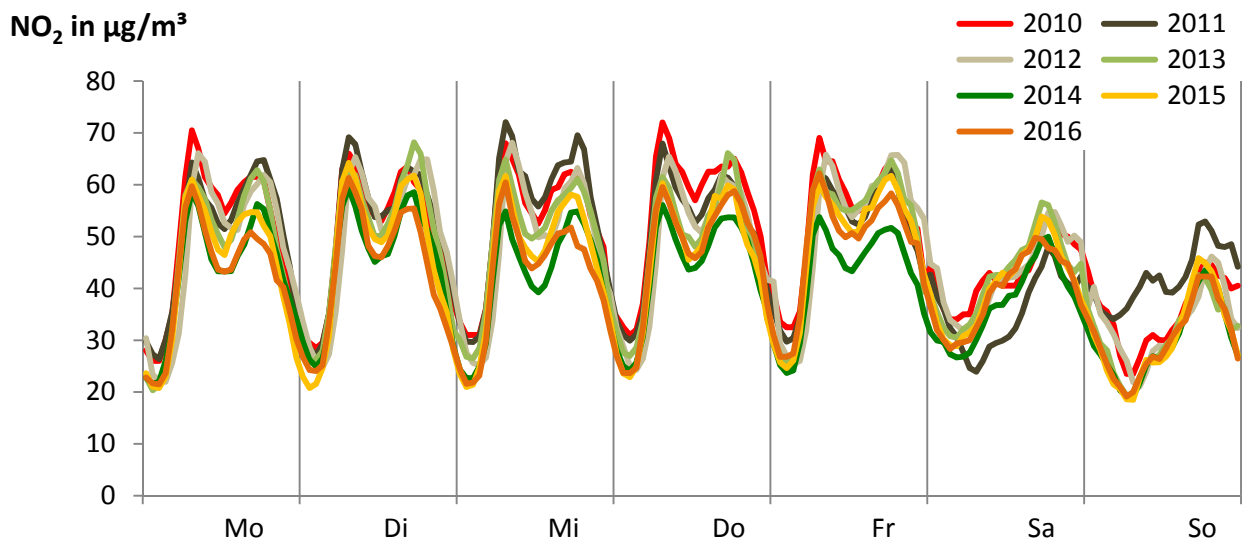
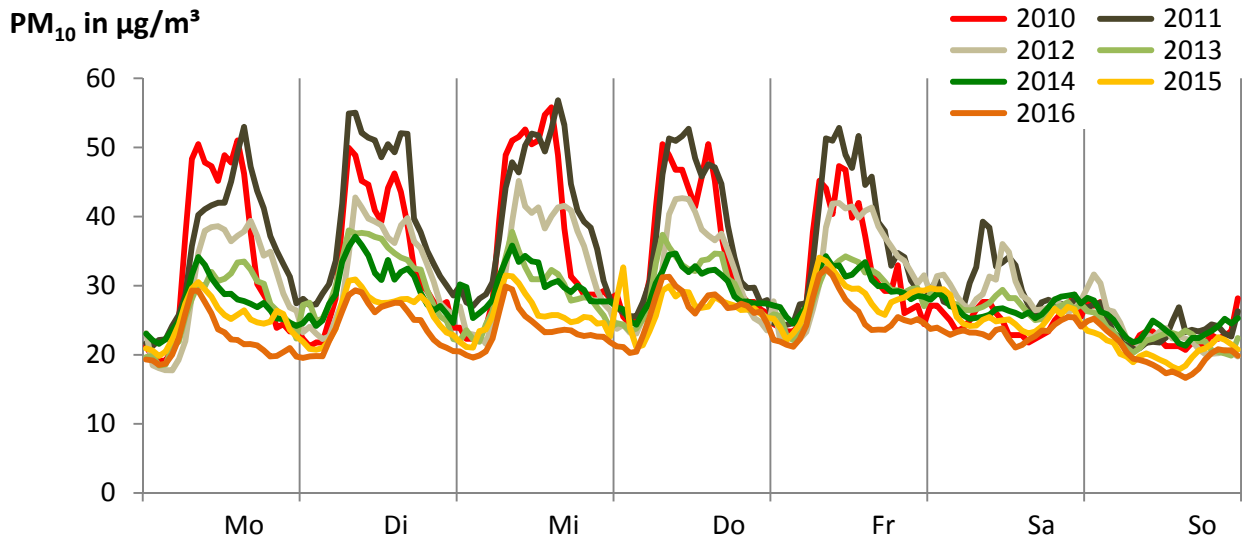


Abbildung 12: Mittlerer Tagesgang der Woche für die Konzentrationen von PM₁₀, NO₂ und NO_x an Leipzig-Mitte vor Einführung der Umweltzone 2010 und in den Jahren danach bis 2016

4.3 Immissionsanteil Motor der Fahrzeuge

4.3.1 Bestimmungsmethode

In den Kapiteln 4.1 und 4.2 wurde stets die Gesamtbelastung betrachtet, die durch eine Vielzahl verschiedener Quellen entstanden ist. Diese Gesamtbelastung (= Immission) kann durch eine Verursacheranalyse in einzelne Verursacheranteile (= einzelne Immissionsanteile) aufgliedert werden. Ein Verursacheranteil ist z. B. der Immissionsanteil Motor, der an einer verkehrsnahen Messstelle durch die Motoremissionen der vorbeifahrenden Fahrzeuge entsteht. Ziel der Umweltzone ist es, diesen Immissionsanteil Motor durch verbesserte Abgasreinigungssysteme moderner Fahrzeuge zu reduzieren. Der Immissionsanteil für Partikel durch Aufwirbelungen und Abriebe durch die Bewegung der Fahrzeuge bleibt dabei unberücksichtigt, weil es nicht Ziel einer Umweltzone ist, die Mobilität einzuschränken (Abbildung 4).

Bei der Verursacheranalyse wurde der Lenschow-Ansatz [LENSCHOW 2001] für Jahresmittelwerte genutzt. Von der gemessenen Gesamtbelastung (GB) an der verkehrsnahen Messstation wird dabei der allgemeine Hintergrundanteil, der an den städtischen Hintergrundmessstationen gemessen wurde, abgezogen. Dabei erfolgt gleichzeitig eine gewisse Korrektur der jährlichen Schwankungen durch den Einfluss der Meteorologie. Es ist eine Schätzung für Jahresmittelwerte [LÖSCHAU 2012].

Der Immissionsanteil Motor kann für verschiedene Messgrößen ermittelt werden. Eine einzelne Messgröße bildet dabei jeweils nur einen spezifischen Teil der komplexen Motoremissionen ab. Annahmen zur Bestimmung des Immissionsanteils Motor wurden in [LÖSCHAU 2014] veröffentlicht und sind in Anlage 5 zu finden.

Der Immissionsanteil Motor für Feinstaub PM_{10} und $PM_{2,5}$ lag bei etwa 10 % der Gesamtbelastung [LÖSCHAU 2014]. Für PM_{10} und $PM_{2,5}$ wurde der größte Teil der Belastung (~90 %) durch andere Quellen verursacht, wie z. B. durch Aufwirbelungen und Abriebe vom Verkehr, Industrie- und Heizungsemissionen sowie Partikelferneintrag. Die kleinen Werte für den Immissionsanteil Motor sind nahe an der Messunsicherheit des Messverfahrens (Anlage 2). Die Ergebnisse für Feinstaub PM_{10} und $PM_{2,5}$ sind damit sehr unsicher. Deshalb wurde auf eine weitere Auswertung verzichtet. Der Immissionsanteil Motor für NO_x , BC, $PN_{30-200nm}$ und $PM_{30-200nm}$ wird hingegen deutlich empfindlicher abgebildet. Der Anteil an der Gesamtbelastung lag meist bei 25 bis 50 %, für NO_x sogar bei 50 bis 85 %. Veränderungen durch verkehrsbezogene Maßnahmen hinsichtlich der Reduzierung der Motoremissionen können durch diese Messgrößen empfindlicher und damit auch sicherer dargestellt werden. Diese Messgrößen sind deshalb für eine Bewertung der Wirkung einer Umweltzone besonders geeignet [LÖSCHAU 2014].

Bei der Interpretation der Ergebnisse für den Immissionsanteil Motor sollten aufgrund der vorhandenen Messunsicherheit der Spurenanalytik und der Methodik der Verursacheranalyse Änderungen größer 10 % bewertet werden. Änderungen kleiner 10 % sollten aufgrund der Unsicherheit des Verfahrens als keine Änderung, als unverändert oder Stagnation bewertet werden.

4.3.2 Ergebnisse

4.3.2.1 Entwicklung am Stationstyp „Städtische Straße“

Der erste, grobe Trend für den Immissionsanteil Motor, der durch die Motoremissionen der vorbeifahrenden Fahrzeuge verursacht wird, ist für Partikel und Spurengase am Stationstyp „Städtische Straße“ für die Jahre 2010 bis 2016 unterschiedlich, wie Abbildung 13, links zeigt.

Für den Immissionsanteil $\Delta NO_{x, Motor}$ wurde praktisch eine Stagnation mit sehr kleinen Ausschlägen nach oben und unten im Mittel aller verkehrsnahen Messstationen festgestellt. Hingegen zeigte der Immissionsanteil Par-

tikel als ΔBC_{Motor} , $\Delta PN_{30-200\text{nm, Motor}}$ und $\Delta PM_{30-200\text{nm, Motor}}$ im Mittel eine sehr deutliche Reduzierung. Von 2010 bis 2016 verminderten sich die Partikel am Straßenrand aus den Fahrzeugemissionen um mehr als 50 %.

An den vier verkehrsnahen Messstellen in Sachsen wurden im Mittel folgende Änderungen von 2010 bis 2016 durch den Immissionsanteil Motor der vorbeifahrenden Fahrzeuge ermittelt:

- -5 % bzw. $-4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Gas NO_x ,
- -59 % bzw. $-0,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Partikel als Ruß- BC_{PM1} ,
- -56 % bzw. $-1.640 \text{ 1}/\text{cm}^3$ für die Partikelanzahl $PN_{30-200\text{nm}}$ und
- -62 % bzw. $-1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für die Partikelmasse $PM_{30-200\text{nm}}$.

Die Ergebnisse von Emissionsmessungen an modernen Dieselfahrzeugen sagten eine deutliche Partikelreduzierung durch die Einführung der Partikelfilter voraus. Dieselpartikelfilter entfernen etwa 97 % der Verbrennungspartikel [Kirchner 2010]. Die verschärften Euro-Normen für Partikel bei der Zulassungsprüfung von neuen Dieselfahrzeugen bewirkten bei der Modernisierung der Kfz-Flotte in nur sieben Jahren in Sachsen eine erfolgreiche Minderung der Dieselpartikel am Straßenrand um mehr als 50 %, wie hier durch Immissionsmessungen in Leipzig und Dresden nachgewiesen wurde.

Dieselfahrzeuge haben einen geringeren Kraftstoffverbrauch gegenüber Benzinern. Aufgrund des geringen CO_2 -Ausstoßes erhielten Diesel-PKW für Euro 1 und Euro 2 keinen eigenen Grenzwert für die NO_x – Emissionen. Bei diesen Schadstoffnormen war lediglich ein Summengrenzwert für NO_x und Nicht-Methankohlenwasserstoffe festgelegt. Erst mit Euro 3 wurden die NO_x -Emissionen eigenständig limitiert. Mit den Folgenormen wurden dann die NO_x -Emissionen schrittweise abgesenkt. Dabei wurde der Grenzwert von 500 mg/km für Euro 3 auf 80 mg/km für Euro 6 reduziert (Abbildung 2). Mit Euro 6 wurden die maximal möglichen NO_x –Emissionen für Diesel-PKW gegenüber Euro 3 um 84 % auf dem Prüfstand verschärft.

Alle neu zugelassenen Diesel-PKW erfüllten die verschärften Anforderungen von Euro 3 bis Euro 6 auf dem Prüfstand. Die Ergebnisse von NO_x -Emissionsmessungen an modernen Diesel-PKW zeigten bereits 2010 Zweifel an der NO_x -Reduzierung [HAUSBERGER 2010]. Diese wurden später durch Emissionsmessungen an real fahrenden Diesel-PKW bestätigt (Abbildung 2). Dabei ging es nicht um Abweichungen von 10 oder 20 %. Die NO_x -Emissionen beim realen Fahren lagen meist um den Faktor 5 über der Zulassungsprüfung (Abbildung 2). Damit wurde der Nutzer eines modernen Diesel-PKW hinsichtlich der realen NO_x -Emissionen durch Autohersteller getäuscht. Die Auseinandersetzung mit dieser Fehlentwicklung erfolgt gegenwärtig auf technischer, normativer, politischer und juristischer Ebene.

Die verschärften NO_x -Euro-Normen bei der Zulassungsprüfung von Dieselfahrzeugen verursachten bei der Modernisierung der Kfz-Flotte in sieben Jahren in Sachsen keine den verschärften Euro-Normen adäquate NO_x -Minderung am Straßenrand, wie hier durch Immissionsmessungen in Leipzig und Dresden nachgewiesen wurde.

4.3.2.2 Entwicklung an den einzelnen verkehrsnahen Messstationen

Nachfolgend werden diese Mittelwerte als absolute Änderung (Abbildung 13, Mitte) und prozentuale Änderung (Abbildung 13, rechts) an den einzelnen Messstationen aufgelöst.

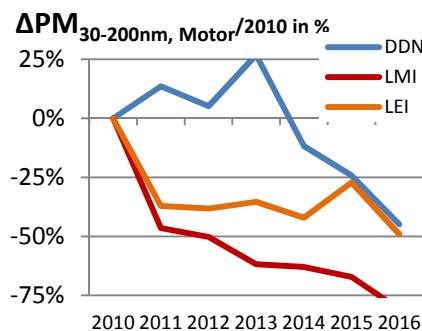
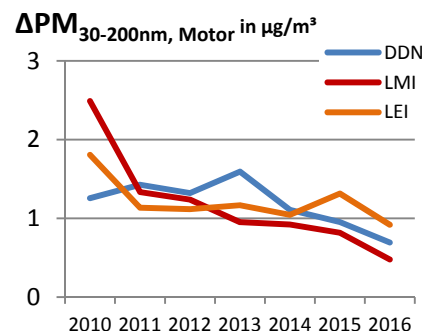
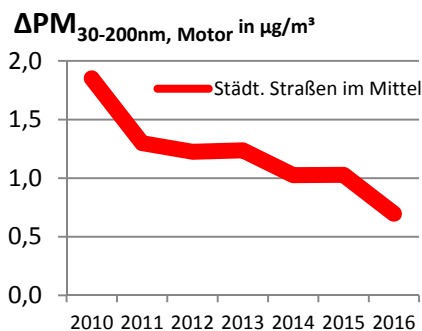
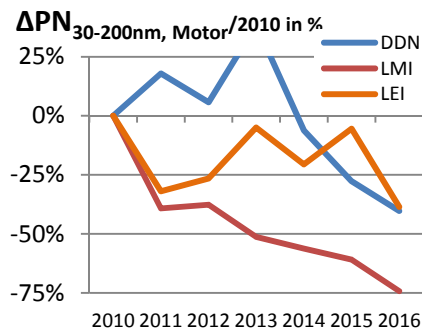
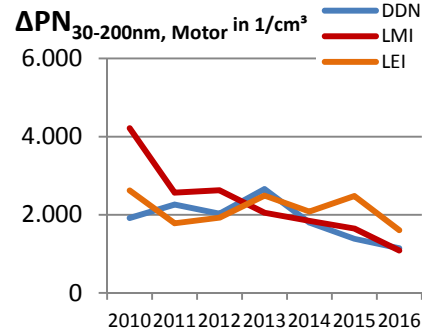
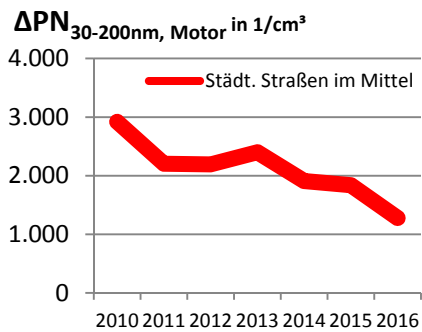
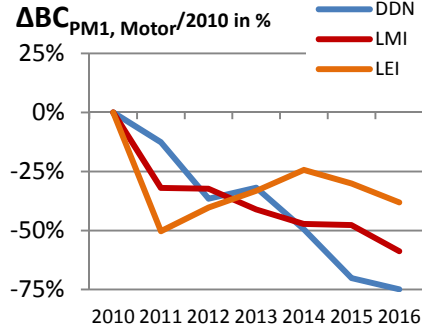
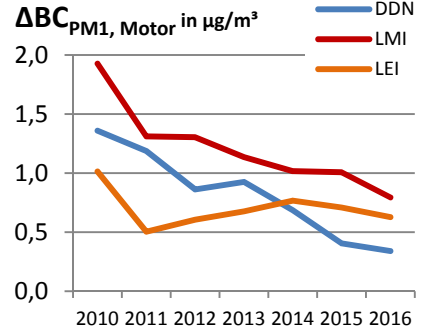
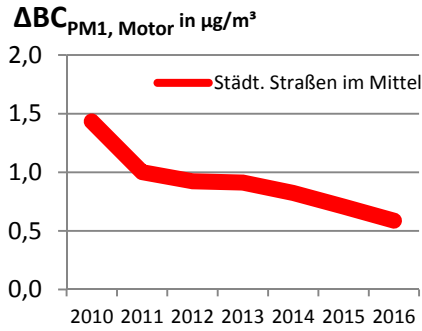
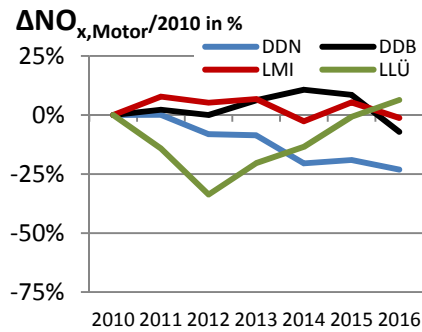
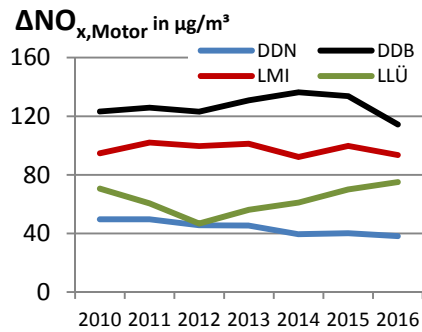
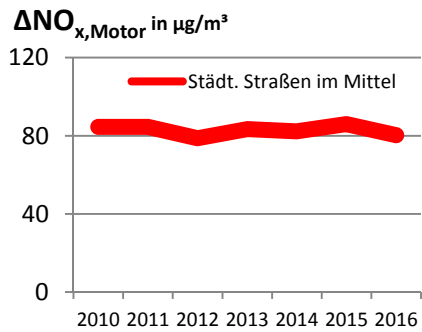


Abbildung 13: Entwicklung des Immissionsanteils Motor am Stationstyp „Städtische Straße“ und an den einzelnen straßennahen Stationen für das Gas NO_x und die Partikel BC_{PM1}, PN_{30-200nm} und PM_{30-200nm} von 2010 bis 2016

Immissionsanteil Motor $\Delta\text{NO}_{x,\text{Motor}}$

Die höchsten Jahresmittelwerte $\Delta\text{NO}_{x,\text{Motor}}$ mit rund $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurden erwartungsgemäß an **DDB** registriert. Eine Stagnation mit kleinen Ausschlägen nach oben und unten war im Zeitraum 2010 bis 2016 feststellbar.

Die geringsten Werte mit weniger als $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\Delta\text{NO}_{x,\text{Motor}}$ wurden an **DDN** ermittelt. Sie fielen im gleichen Zeitraum um $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 23 %. Die fallende Tendenz ist wahrscheinlich auf reduzierte Verkehrszahlen, für die leider keine Zählwerte vorliegen, zurückzuführen. Die von der Stadtverwaltung Dresden für den Luftreinhalteplan modellierten Werte weisen dort eine Reduzierung des SV von 2010 bis 2015 um rund 30 % aus [DIETZ 2016].

Demgegenüber wurden an **LMI** nahezu konstante Werte um $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ von 2010 zu 2016 ermittelt. Die Verkehrszählung registrierte dabei einen Rückgang des SV um 19 % und eine Stagnation des Gesamtverkehrs.

An der Messstation LLÜ gab es deutliche Veränderungen der Verkehrsstärke. Deshalb lohnt hier eine vertiefende Analyse (Abbildung 14). In der Straßenschlucht sank ΔNO_x wenn die Verkehrsstärke geringer wurde. 2012 war das Minimum von ΔNO_x der Konzentration mit -34 % bzw. $-24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $\Delta\text{NO}_{x,\text{Motor}}$ und das Minimum der Verkehrsstärke mit -51 % Gesamtverkehr und -70 % SV erreicht. Danach stieg die Verkehrsstärke wieder an und auch der Immissionsanteil ΔNO_x wurde größer. 2016 wurde das gleiche ΔNO_x -Niveau wie 2010 mit weniger Kraftfahrzeugen erreicht. 2016 fuhren 7 % weniger Kfz und 17 % weniger SV-Fahrzeuge als 2010. Das bedeutet, dass die mittlere Emission pro Fahrzeug der modernisierten Flotte 2016 in der Umweltzone Leipzig gestiegen ist. Es ist zu vermuten, dass dies durch das Ersetzen von Benzin-PKW durch Diesel-PKW mit deutlich höheren Emissionen in der realen Fahrzeugflotte verursacht wurde.

Das Ziel der Umweltzone, eine Minderung des NO_x -Beitrages aus dem Verkehr zu erreichen wurde verfehlt. Im Gegenteil. Die NO_x -Emissionen der modernen Fahrzeuge sind 2016 im Mittel nachweislich an LLÜ gestiegen. Nicht die durch die Umweltzone modernisierte Fahrzeugflotte, sondern die Verringerung der Verkehrsstärke in Leipzig ist für die Minderung oder Stagnation der NO_x -Belastung verantwortlich.

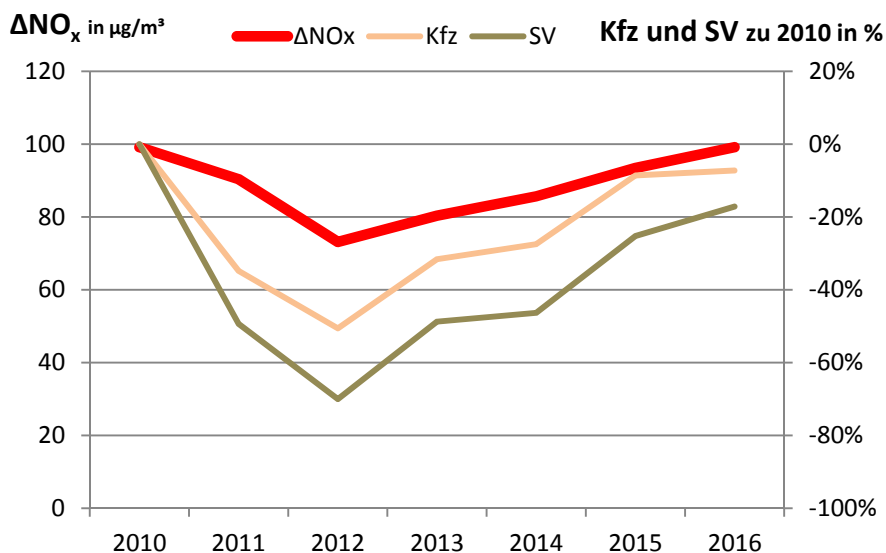


Abbildung 14: Entwicklung des Immissionsanteils Motor ΔNO_x und der relativen Verkehrsstärke in der Straßenschlucht an LLÜ von 2010 bis 2016

Immissionsanteil Motor $\Delta BC_{PM1, Motor}$

An der Leipziger Messstation **LMI** wurde der höchste Immissionsanteil Motor ΔBC_{Motor} von 2010 bis 2016 festgestellt. Dabei ist zu beachten, dass an der mit ΔNO_x höchstbelasteten Messstation DDB keine Sondermessungen BC erfolgten und damit dort keine Einordnung möglich ist. An LMI reduzierte sich der Immissionsanteil Motor $\Delta BC_{PM1, Motor}$ 2010 von $1,9 \mu g/m^3$ auf $0,8 \mu g/m^3$ 2016 am stärksten. An **DDN** war ebenfalls von 2010 bis 2016 eine recht stetige Reduzierung gemessen worden.

Die Daten für $\Delta BC_{PM1, Motor}$ von DDN und LMI lassen einen Vergleich von Dresden und Leipzig zu. Die Reduzierung an LMI kann als allgemeine Modernisierung der Fahrzeugflotte plus Wirkung der Umweltzone Leipzig interpretiert werden. Die Reduzierung an DDN wird z. T. auf verringerte SV-Zahlen (-30 %) zurückgeführt und kann teilweise ebenfalls als allgemeine Modernisierung der Fahrzeugflotte plus Mitnahmeeffekt der Wirkung der 120 km entfernten Umweltzone in Leipzig gesehen werden, denn die Umweltzone in Leipzig hatte sicher eine gewisse Signalwirkung zur beschleunigten Modernisierung der Fahrzeugflotte in ganz Sachsen.

An der Messstation **LEI** wurde ein unstabiler Abfall für den Immissionsanteil Motor $\Delta BC_{PM1, Motor}$ registriert. Eine Bewertung kann nicht gegeben werden, weil keine NO_x -Messung vorlag und keine über den Zeitraum kompletten Verkehrszahlen bekannt sind.

Immissionsanteil Motor $\Delta PN_{30-200nm, Motor}$

An der Leipziger Messstation **LMI** wurde der höchste Immissionsanteil Motor für $\Delta PN_{30-200nm, Motor}$ in den Jahren 2010 bis 2012 festgestellt. An der Leipziger Messstation LMI reduzierte sich $\Delta PN_{30-200nm, Motor}$ von $4.200 \text{ Partikeln/cm}^3$ 2010 um $3.100 \text{ Partikeln/cm}^3$ 2016. Das Niveau reduzierte sich um 74 % von 2010 nach 2016. Es war mit Abstand die stärkste absolute und auch relative Reduzierung an einer Messstation. Der Rückgang der Partikelanzahlkonzentration 2011 war zunächst durch den reduzierten Verkehr, insbesondere SV (Abbildung 6) entstanden, weil viele ältere Fahrzeuge, insbesondere SV-Fahrzeuge, die Umweltzone 2011 nicht mehr befahren durften. Nach dem Wiederanstieg des Kfz-Gesamtverkehrs 2012 (Abbildung 5) und sogar einer Erhöhung in den Jahren 2013 bis 2015 reduzierte sich der Immissionsanteil Motor $\Delta PN_{30-200nm, Motor}$ jedoch weiter. Der zeitweilig reduzierte Gesamtverkehr wurde offensichtlich durch saubere Dieselfahrzeuge mit Partikelfilter, bedingt durch die Vorgabe der Umweltzone, aufgefüllt. Ein Teil der Reduzierung verursachten die weniger fahrenden Schwerverkehrsfahrzeuge.

An der Dresdner Messstation **DDN** wurde teilweise eine Erhöhung gegenüber 2010 registriert. Die Entwicklung an DDN von $\Delta PN_{30-200nm, Motor}$ und ΔBC_{Motor} ist gegenläufig und nicht plausibel. Ein Erklärungsversuch wird dennoch nachfolgend unternommen. Bei den Partikeln $\Delta PN_{30-200nm}$ werden neben den Rußpartikeln weitere Nicht-Rußpartikel mitgezählt. Die Erhöhung von $\Delta PN_{30-200nm}$ kann nur im Zusammenhang mit einer Nicht-Ruß-Partikelquelle in der nahen Umgebung der Messstation DDN interpretiert werden. Möglicherweise führt ein nahegelegener Döner-Imbiss (ca. 20 m westlich) zu hohen Emissionen, die Partikelneubildungen begünstigen. Dieser ggf. zusätzliche Beitrag wird bei der Verursachermanalyse dem Straßenverkehr zu Unrecht zugeschlagen.

An **LEI** reduzierte sich $\Delta PN_{30-200nm, Motor}$ 2011 sehr stark um 32 % und stieg danach wieder an und war in den Folgejahren unbeständig bei Reduzierungen von 5 bis 39 %.

Immissionsanteil Motor $\Delta PM_{30-200nm, Motor}$

An **LMI** wurde der höchste Immissionsanteil Motor für $\Delta PM_{30-200nm}$ mit $2,5 \mu g/m^3$ im Ausgangsjahr 2010 festgestellt. Gleichzeitig erfolgte an LMI die größte Reduzierung um $2,0 \mu g/m^3$ auf $0,5 \mu g/m^3$ in 2016. An LMI lag 2016 damit der geringste Konzentrationsbeitrag durch vorbeifahrende Fahrzeuge gegenüber DDN und LEI vor. Die Partikelmasse für den Immissionsanteil Motor reduzierte sich um 81 %. LMI hatte damit auch die größte relative Minderung.

Die Daten an **DDN** sind aufgrund einer möglichen zusätzlichen Nicht-Verkehrsquelle schwer zu interpretieren.

An **LEI** sank 2016 die Massenkonzentration auf rund 50 % gegenüber 2010.

Zusammenfassung für die Messstation Leipzig-Mitte

Für die im Zentrum der Umweltzone Leipzig gelegene verkehrsnahere Messstation Leipzig-Mitte (LMI) wurden folgende Änderungen von 2010 nach 2016 durch den Immissionsanteil Motor der vorbeifahrenden Fahrzeuge ermittelt:

- -1 % bzw. $-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Gas ΔNO_x ,
- -59 % bzw. $-1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Partikel als $\Delta\text{Ru}\beta\text{-BC}_{\text{PM}1}$,
- -74 % bzw. -3.130 cm^{-3} für Partikel als Anzahl der Partikelgröße von 30 bis 200 nm $\Delta\text{PN}_{30-200\text{nm}}$ und
- -81 % bzw. $-2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für Partikel als Masse der Partikelgröße von 30 bis 200 nm $\Delta\text{PM}_{30-200\text{nm}}$.

Gleichzeitig erreichte der Gesamtverkehr 2016 wieder das Niveau von 2010, wobei sich der Schwerverkehrsanteil von 3,4 % auf 2,8 % reduzierte.

Die beschleunigte Modernisierung der Fahrzeugflotte in der Umweltzone Leipzig führte zu einer deutlichen Partikelreduzierung in der Außenluft durch die verringerten Motoremissionen der Fahrzeuge. Die nachgewiesene Partikelminderung im Bereich von 59 bis 81 % zeigt, wie erfolgreich die Einführung der Dieselpartikelfilter in der Fahrzeugflotte war und wie dies zu einer enormen Partikelminderung am Straßenrand führte.

Das Maß der Minderung des Immissionsanteils Motor war noch größer zu erwarten, da Dieselpartikelfilter etwa 97 % der Partikelemissionen [KIRCHNER 2010] reduzieren. Weshalb diese maximale Minderung nicht erreicht wurde, kann mehrere Ursachen haben. Zum Ersten führen in der Umweltzone illegal auch Dieselfahrzeuge ohne Partikelfilter, d.h. ohne Umweltplakette „Grün“. Diese wenigen verursachten sehr hohe Partikelemissionen. Die hohe Anzahl der von der Stadtverwaltung Leipzig ermittelten Verstöße gegen die Kennzeichnungspflicht belegt dies. So wurden 2016 rund 7.200 Verstöße angezeigt (Tabelle 10). Zum Zweiten wurden für eine sehr kleine Anzahl von Fahrzeugen 2016 eine Ausnahmegenehmigungen erteilt (Tabelle 10), die legal höhere Partikelemissionen hatten. Zum Dritten ist für ein mit Partikelfilter nachgerüstetes Fahrzeug die Partikelminderungsrate nicht so hoch wie bei einem Neufahrzeug. Zum Vierten stellt sich die Frage, ob bei einer Laufzeit von mehreren Jahren die Dieselpartikelfilter noch die Effizienz wie im Neuzustand besitzen, ob ggf. Fahrzeuge mit defekten Partikelfiltern in der Fahrzeugflotte enthalten sind oder ob Benziner mit Direkteinspritzung zu einer neuen Partikelquelle wurden. Fahrzeuge mit defekten Partikelfiltern bzw. ohne Partikelfilter können mit schnellen Partikelzählern im fließenden Verkehr an geeigneten Straßen ermittelt werden. Ein Beispiel dafür ist in [LÖSCHAU 2014a] zu finden.

Keine Verbesserungen wurden durch die moderneren Dieselfahrzeuge für NO_x erreicht (Abbildung 15). Die Veränderungen schwanken nur im Rahmen der Unsicherheit. Das Ziel der Umweltzone, den ΔNO_x – Immissionsanteil aus dem Verkehr zu mindern wurde verfehlt. Die verschärften NO_x -EU-Abgasnormen für Diesel-PKW führten nicht zur Schadstoffminderung im realen Fahrbetrieb in der Stadt. Über die tatsächlichen Emissionen moderner Diesel-PKW wurden Bürger und Stadtverwaltung von Autoherstellern getäuscht. Zu diesem Misserfolg in der Luftreinhaltung besteht dringender Handlungsbedarf, zumal der NO_2 -Grenzwert bereits 1999 von den Mitgliedsstaaten der EU verbindlich beschlossen wurde.

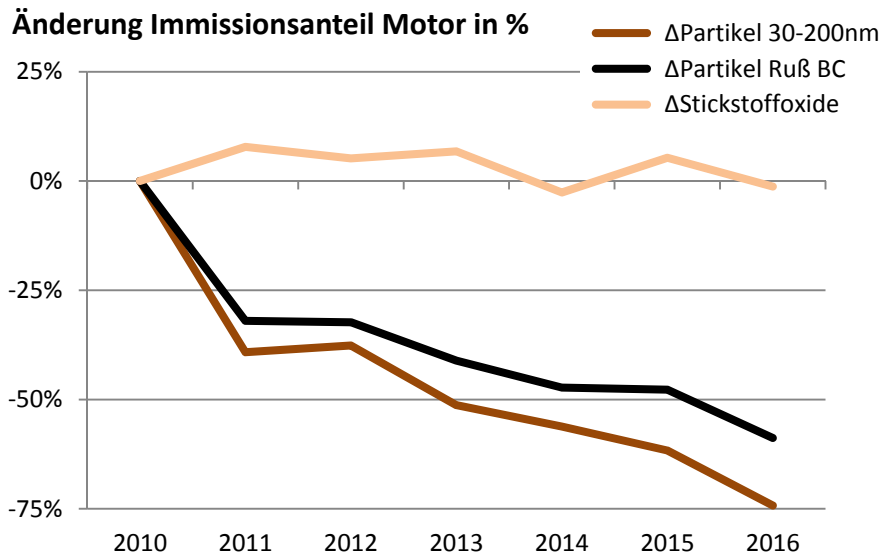


Abbildung 15: Relative Änderung des Immissionsanteils durch die Kfz-Motoremissionen an der Messstation Leipzig-Mitte von 2010 bis 2016

4.3.3 Minderung für Feinstaub PM_{10} und für das Gesundheitsrisiko

Für die Sondermessgrößen BC, $PN_{30-200nm}$ und $PM_{30-200nm}$ existieren keine Grenzwerte. Damit gibt es auch keine Beurteilungskriterien für die Interpretation der Veränderungen. Die Sondermessgrößen BC und $PM_{30-200nm}$ liefern aber deutlich empfindlichere Eingangsdaten als dies für PM_{10} möglich wäre (vgl. Kap. 4.3.1). Deshalb werden nachfolgend die Veränderungen der Partikelmasse in der Außenluft durch die veränderten Motoremissionen der vorbeifahrenden Fahrzeuge betrachtet, weil diese eine Einordnung in die gesetzlich vorgegebene Überwachungsgröße Feinstaub PM_{10} mit einem Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit ermöglichen. Dies ist der methodische Unterschied zu bisherigen Studien, die die Feinstaubminderung von Umweltzonen direkt über die Ergebnisse der Feinstaubmessung zu bestimmen versuchten [MORFELD 2011].

Die Änderung der Partikelmassen ΔBC_{Motor} und $\Delta PM_{30-200nm, Motor}$ infolge der Modernisierung der Fahrzeugflotte der Dresdner Messstation DDN und der Leipziger Messstationen LMI und LEI wird in Abbildung 16 gezeigt. Minderungserfolge für Ruß als BC und Partikel von 30 bis 200 nm wurden in Leipzig und Dresden nachgewiesen. Sie waren in Leipzig am größten, wenn auch veränderte Verkehrsstärken in die Diskussion einbezogen wurden.

An LMI weisen die Ergebnisse der wissenschaftlichen Sondermessungen der Partikelmassen für den Immissionsanteil Motor im Feinstaub PM_{10} nach, dass $1,1 \mu g/m^3$ weniger BC und $2,0 \mu g/m^3$ weniger $PM_{30-200nm}$ durch unmittelbar vorbeifahrende Fahrzeuge enthalten waren. Es wurden also weniger Ruß und weniger ultrafeine und feine Partikel durch die modernisierte Fahrzeugflotte emittiert. An LEI war eine Senkung mit $0,4 \mu g/m^3$ weniger Ruß und $0,9 \mu g/m^3$ weniger $PM_{30-200nm}$ und an DDN eine Minderung von $1,0 \mu g/m^3$ weniger Ruß und $0,6 \mu g/m^3$ weniger $PM_{30-200nm}$ ermittelt worden. Für das Messverfahren Ruß BC wird jeweils eine kleinere Reduzierung als für die ultrafeinen und feinen Partikel (Ausnahme DDN vgl. 4.3.2.2) ermittelt. Dies ist auch verständlich, da nicht alle emittierten Verbrennungspartikel Rußpartikel sind.

Die Größe der Reduzierung der Partikelmasse hat Einfluss auf die Feinstaubzusammensetzung von PM_{10} . Der Ausgangswert 2010 für PM_{10} kann genutzt werden, um Reduzierungen von Feinstaub PM_{10} durch die modernisierte Fahrzeugflotte anzugeben. An LMI sank Feinstaub PM_{10} um 3,6 % berechnet auf Basis der Rußmessungen mit ΔBC_{PM1} und um 6,3 % berechnet auf Basis der Messungen von Partikeln der Größe von 30 bis 200 nm mit $\Delta PM_{30-200nm}$. An allen drei verkehrsnahen Messstationen wurden Feinstaubreduzierungen im

Bereich von 1,4 bis 6,3 % durch die Nutzung der Ergebnisse der wissenschaftlichen Sondermessungen nachgewiesen (Tabelle 6).

Das ist auf den ersten Blick eine geringe PM₁₀-Reduzierung durch die Verbrennungspartikel aus dem Straßenverkehr. Weil es sich aber um die Reduzierung des hochtoxischen Anteiles im Feinstaub PM₁₀ (vgl. Kap 2.1) handelt, entspricht dies nach WICHMANN [2011] einer überproportionalen Reduzierung des Gesundheitsrisikos der Bevölkerung. Die über den Literaturansatz berechnete relative Senkung des Gesundheitsrisikos lag im Bereich von 7 % bis 32 % für die drei verkehrsnahen Messstationen (Tabelle 7). Die größte Senkung des Gesundheitsrisikos wurde an LMI mit 18 bis 32 % ermittelt. Die Bevölkerung im Zentrum der Umweltzone in Leipzig hatte damit den größten gesundheitlichen Nutzen der verkehrsbezogenen Luftreinhaltemaßnahme Umweltzone.

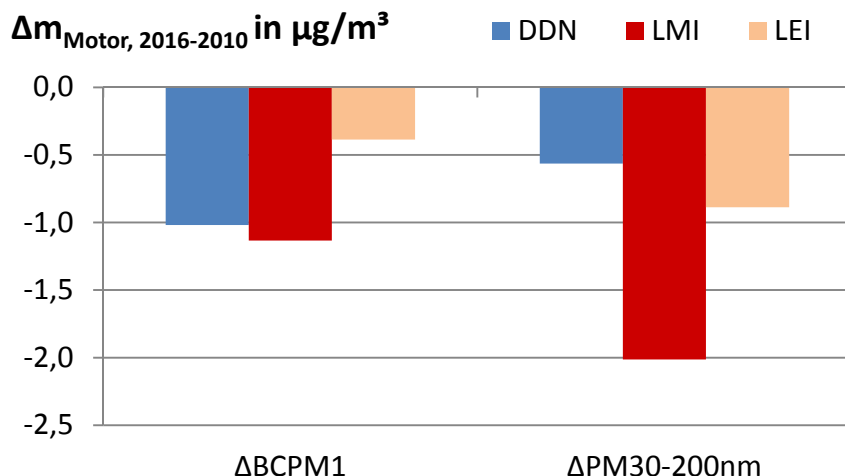


Abbildung 16: Absolute Änderung des Immissionsanteils Motor für die Partikelmassen von Ruß als BC sowie sehr kleiner Partikel von 30 bis 200 nm in Leipzig (LMI, LEI) und Dresden (DDN) 2016 gegenüber 2010

Tabelle 6: Feinstaubminderung PM₁₀ durch reduzierte Kfz-Motoremissionen 2016 gegenüber 2010

| Messstation | DDN | LMI | LEI |
|---|-------|-------|-------|
| PM ₁₀ –Anteil ermittelt aus ΔBCPM _{1, Motor} | -3,4% | -3,6% | -1,4% |
| PM ₁₀ –Anteil ermittelt aus ΔPM _{30-200nm, Motor} | -1,9% | -6,3% | -3,2% |

Tabelle 7: Senkung des Gesundheitsrisikos der Bevölkerung durch den reduzierten hochtoxischen Feinstaubanteil im PM₁₀ 2016 gegenüber 2010

| Messstation | DDN | LMI | LEI |
|---|------|------|------|
| Risiko ermittelt aus ΔBCPM _{1, Motor} | -17% | -18% | -7% |
| Risiko ermittelt aus ΔPM _{30-200nm, Motor} | -10% | -32% | -16% |

4.4 Gesetzliche Beurteilung der Luftqualität in Leipzig und Dresden

Grundlagen

Die rechtliche Grundlage zur Beurteilung der Luftqualität bildet u. a. die EU-Richtlinie 2008/50/EG [EU-RL 2008], die im Bundes-Immissionsschutzgesetz als 39. Bundes-Immissionsschutzverordnung in nationales Recht umgesetzt wurde [BImSchG 2013], [BImSchV 2010]. Details wurden bereits im Bericht „Umweltzone Leipzig, Teil 1“ dargestellt [LÖSCHAU 2012].

Luftqualität von 2010 bis 2016

Die Ergebnisse der gesetzlich vorgeschriebenen Überwachungsgrößen in den Jahren 2010 bis 2016 werden in Abbildung 17 gezeigt. Es sind die Jahresmittelwerte für PM_{10} , $PM_{2.5}$ und NO_2 sowie die Anzahl der PM_{10} -Überschreitungstage für die Messstationen in den Stadtgebieten Leipzig und Dresden sowie im regionalen Hintergrund. Dabei wird der einzuhaltende Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit mit einer roten Linie angegeben.

Der **PM_{10} -Jahresmittelgrenzwert von $40 \mu g/m^3$** wurde von 2010 bis 2016 an keiner der Messstationen überschritten. Dieser Grenzwert wird seit Jahren an allen Messstationen in Sachsen eingehalten.

Der **PM_{10} -Tagesgrenzwert von $50 \mu g/m^3$ bei 35 zulässigen Überschreitungstagen pro Jahr** wurde an allen Messstationen im städtischen und regionalen Hintergrund von 2010 bis 2016 eingehalten. An allen verkehrsnahen Messstationen wurde der Grenzwert 2010 und 2011 überschritten. Es ist ein Grenzwert, der bereits seit 1.1.2005 einzuhalten ist.

In den Folgejahren reduzierten sich die Grenzwertüberschreitungen. Im Zeitraum 2012 bis 2015 traten in Dresden eine Grenzwertüberschreitung (DDB 2014) und in Leipzig vier Grenzwertüberschreitungen (LMI 2012, LLÜ 2012-2014) auf. 2015 und 2016 wurde an keiner Messstation eine Grenzwertüberschreitung registriert (Tabelle 8).

Die Gesamtschau der Ergebnisse (Abbildung 17) zeigt, dass es Jahre mit einer hohen Anzahl an Überschreitungstagen (2011) und Jahre mit einer geringen Anzahl von Überschreitungstagen (2012, 2015) für alle Messstationen gibt. Dies gilt für alle Typen von Messstationen von „Städtischer Straße“ über „Städtischer Hintergrund“ und „Regionaler Hintergrund“. Dabei wird deutlich, wie stark der Einfluss der Schwankung der jährlichen meteorologischen Rahmenbedingungen für diese Jahreskenngröße ist. So verursachten strenge Winter und eine hohe Anzahl von Ostwetterlagen eine hohe Anzahl von Überschreitungen. In den letzten Jahren war eher das Gegenteil der Fall. Günstige meteorologische Rahmenbedingungen haben 2015 zur Einhaltung des Grenzwertes in ganz Sachsen geführt. Aufgrund der Zufälligkeit ist es für eine sichere Trendaussage deshalb noch zu früh. Es muss eingeschätzt werden, dass trotz Umweltzone und der sonstigen Maßnahmen der Luftreinhaltepläne die Grenzwertüberschreitungen für PM_{10} von 2011 bis 2014 in Leipzig und Dresden nicht verhindert wurden.

Der **$PM_{2.5}$ -Jahresmittelgrenzwert von $25 \mu g/m^3$** , der ab dem Jahr 2015 einzuhalten ist, wurde an allen Messstationen sicher eingehalten.

Der **NO_2 -Jahresmittelgrenzwert von $40 \mu g/m^3$** , der ab dem Jahr 2010 einzuhalten ist, wurde von 2010 bis 2016 an allen Messstationen im städtischen und regionalen Hintergrund sicher eingehalten. An den verkehrsnahen Messstationen fällt die Beurteilung selbst von Stadt zu Stadt sehr differenziert aus.

In Dresden an der Messstation DDN traten keine, hingegen an DDB konsequent von 2010 bis 2016 Grenzwertüberschreitungen auf. In Leipzig wurden Grenzwertüberschreitungen an LMI von 2010 bis 2016 außer 2014

und an LLÜ 2010 und dann wieder 2016 registriert. An LLÜ wurden in den Jahren dazwischen deutlich reduzierte Kfz-Zahlen ermittelt, die zur Minderung der Belastung beitrugen. Ab 2013 stiegen die Kfz-Zahlen wieder an und 2016 wurde folgerichtig der Grenzwert überschritten. Insgesamt wurde an fast allen Messstationen (Ausnahmen LLÜ und DDB) von Jahr zu Jahr eine leichte Minderung der Belastung ermittelt (Abbildung 6, rechts unten).

Im Zeitraum 2010 bis 2015 nahm die Anzahl der verkehrsnahen Messstationen mit Grenzwertüberschreitungen ab. Dabei sind jedoch keine Vorteile für die Messstationen in Leipzig in der Umweltzone gegenüber Dresden zu erkennen (Tabelle 8). Im Jahr 2016 stieg die Anzahl der Grenzwertüberschreitungen auf drei an. Für Feinstaub PM₁₀ wurden seit 2015 keine Überschreitungen mehr registriert.

Ergebnisse der Modellierung für die Betroffenheit der Bürger von Grenzwertüberschreitungen

In den Luftreinhalteplänen erfolgte eine Modellierung der Schadstoffkonzentrationen für das Jahr 2011. Wesentliche Grundlagen waren dabei die Prognose der Verkehrszahlen 2011, die Berechnung der Emissionen nach HBEFA 2.1 oder 2.3 und die Annahme einer vollständigen Umsetzung der Maßnahmen der Luftreinhaltepläne, wie z. B. der Umsetzung der Umweltzone in Leipzig ohne Ausnahmeregelungen und des Maßnahmenpaketes in Dresden. In **Leipzig** waren danach 310 Einwohner auf einer Straßenslänge von 1,3 km von einer NO₂-Grenzwertüberschreitung und 200 Einwohner auf einer Straßenslänge von 0,4 km von einer PM₁₀-Grenzwertüberschreitung betroffen [Stadt Leipzig 2009]. In **Dresden** waren 1.900 Einwohner auf einer Straßenslänge von 5 km von einer NO₂-Grenzwertüberschreitung und 2.300 Einwohner auf einer Straßenslänge von 5 km von einer PM₁₀-Grenzwertüberschreitung betroffen [Dresden 2011].

Die Modellierung für das Jahr 2015 erfolgte mit den überarbeiteten Emissionsfaktoren nach HBEFA 3.2. In **Leipzig** waren danach 2.009 Einwohner auf einer Straßenslänge von rund 3 km von einer NO₂-Grenzwertüberschreitung und 818 Einwohner auf einer Straßenslänge von etwa 1,6 km von einer PM₁₀-Grenzwertüberschreitung betroffen [LfULG 2016b]. In **Dresden** waren 1.287 Einwohner auf einer Straßenslänge von 1,8 km von einer NO₂-Grenzwertüberschreitung und 699 Einwohner auf einer Straßenslänge von 1,0 km von einer PM₁₀-Grenzwertüberschreitung betroffen [LfULG 2016c].

Nach den Ergebnissen der Modellierungen nahm die Anzahl der von Grenzwertüberschreitung betroffenen Einwohner von 2011 bis 2015 in Leipzig zu und in Dresden ab. Die Zunahme der Betroffenheit in Leipzig begründet sich mit der gestiegenen Einwohnerzahl. Wurden für das Jahr 2011 insgesamt 510.043 Einwohner gezählt, stieg dieser Wert im Jahr 2015 auf 560.472 Einwohner [Stadt Leipzig 2016a]. Die Bevölkerungszunahme betrifft überwiegend zentrumsnahe Stadtteile und damit Gebiete, innerhalb derer die von Grenzwertverletzung betroffenen Straßensabschnitten liegen.

WHO-Empfehlung erfordert deutlich höhere Anstrengungen zur Verbesserung der Luftqualität

Die PM₁₀- und PM_{2,5}-Grenzwerte der EU wurden 2015 und 2016 in Leipzig eingehalten. Auch bei Einhaltung der EU-Grenzwerte ist ein Großteil der Bevölkerung nicht vor Gesundheitsschäden geschützt [UBA 2014]. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt deutlich geringere Partikelwerte wie z. B. einen Jahresmittelwert für PM_{2,5} von 10 µg/m³ [WHO 2005]. Diesen WHO-Wert überschreiten alle verkehrsnahen Messstationen, alle Messstationen im städtischen Hintergrund und fast alle Messstationen im regionalen Hintergrund in Sachsen (Abbildung 17, links unten).

Die Nutzung aller Möglichkeiten zu einer weiteren konsequenten Reduzierung der Partikelbelastung ist deshalb erforderlich.

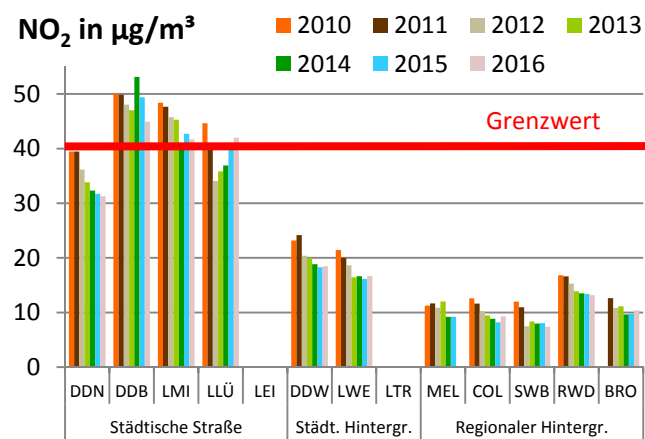
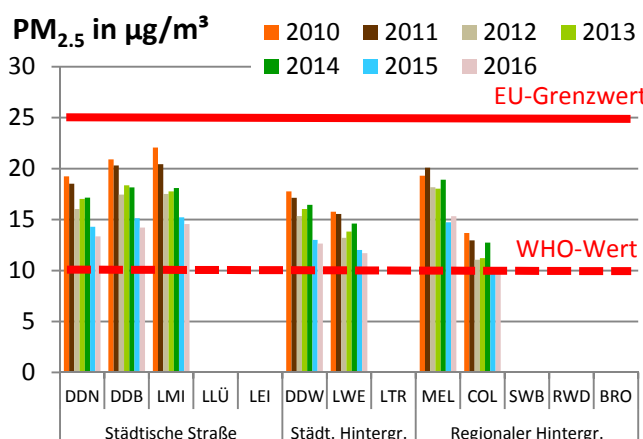
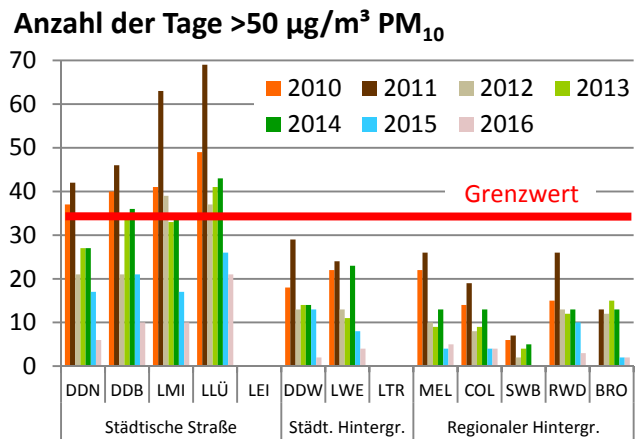
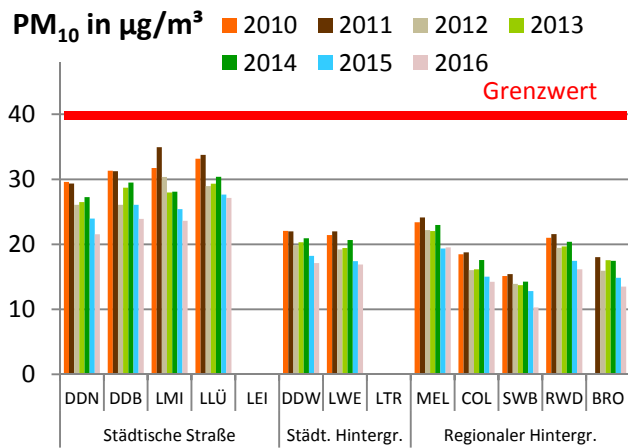


Abbildung 17: Ergebnisse der Messung für PM₁₀, PM_{2.5} und NO₂ für die Jahresmittelwerte von 2010 bis 2016 und dessen Relation zum jeweiligen Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit

Tabelle 8: Kenngrößen der kritischen Luftschadstoffe an den verkehrsnahen Messstationen von 2010 bis 2016

| Kenngröße | Anzahl der PM ₁₀ -Überschreitungstage | | | | NO ₂ -Jahresmittelwerte in µg/m ³ | | | | Anzahl der Stationen mit GWÜ |
|-------------|--|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|------------------------------|
| | 35 Tage, einzuhalten ab 1.1.2005 mit Fristverlängerung bis 11.6.2011 | | | | 40 µg/m ³ , einzuhalten ab 1.1.2010 mit Fristverlängerung bis 1.1.2015 | | | | |
| Grenzwert | | | | | | | | | |
| Messstation | DDN | DDB | LMI | LLÜ | DDN | DDB | LMI | LLÜ | |
| 2010 | 37 | 40 | 41 | 49 | 39 | 50 | 48 | 45 | 7 |
| 2011 | 42 | 46 | 63 | 69 | 39 | 50 | 48 | 40 | 6 |
| 2012 | 21 | 22 | 39 | 37 | 36 | 48 | 46 | 34 | 4 |
| 2013 | 27 | 34 | 33 | 41 | 34 | 47 | 45 | 36 | 3 |
| 2014 | 27 | 36 | 34 | 43 | 32 | 53 | 40 | 37 | 3 |
| 2015 | 17 | 21 | 17 | 26 | 32 | 49 | 43 | 40 | 2 |
| 2016 | 6 | 10 | 10 | 21 | 31 | 45 | 42 | 42 | 3 |

Legende:

- Felder zeigen Grenzwertüberschreitungen (GWÜ) für die Jahre, für die eine Fristverlängerung anerkannt wurde
- Felder zeigen Grenzwertüberschreitungen an

5 Zusammenfassung

Die Motoremissionen insbesondere von Dieselfahrzeugen sind krebserzeugend. Sie tragen zum hoch toxischen Anteil im Feinstaub bei. Die extrem kleinen Dieselpartikel besitzen in der gesetzlich vorgegebenen Überwachungsgröße Feinstaub PM₁₀ nur einen sehr geringen Masseanteil, der eine Erfolgskontrolle entsprechender Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität sehr unsicher macht.

Das gemeinsame wissenschaftliche Messprogramm vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden und vom Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e. V. in Leipzig begleitete die Einführung der Umweltzone in Leipzig sowohl wissenschaftlich als auch messtechnisch. Dazu wurden die gesetzlich vorgegebenen Messungen von Feinstaub und Stickstoffdioxid erstmalig durch die Messung von Ruß und auch ultrafeinen Partikeln ergänzt, um die Veränderungen der Dieselfahrzeugemissionen in der Außenluftbelastung besser zu charakterisieren. Über einen Zeitraum von sieben Jahren wurden Immissionsmessungen an insgesamt 13 Luftgüte- und Forschungsmessstationen an viel befahrenen Straßen im Stadtgebiet, im städtischen Hintergrund und im regionalen Hintergrund durchgeführt, systematisch ausgewertet und jährlich im Internet veröffentlicht.

Die Umweltzone Leipzig wurde im März 2011 mit der Stufe „Grüne Plakette“ eingeführt. Es wurden 62 % des Stadtgebietes mit einem Fahrverbot für Fahrzeuge ohne, mit roter oder gelber Plakette belegt. Die Ankündigung und Durchsetzung der Umweltzone verursachte eine beschleunigte Modernisierung der Fahrzeugflotte in der Stadt.

Die Messergebnisse vom Jahr 2010 bildeten die Ausgangsbeurteilung vor der Einführung der Umweltzone. In den Jahren bis 2016 verbesserte sich die Luftqualität in Sachsen deutlich. An den verkehrsnahen Messstationen in Leipzig und Dresden wurden im Mittel Reduzierungen der Konzentrationen für Feinstaub PM₁₀ um 24 %, für Feinstaub PM_{2,5} um 32 %, für Stickstoffdioxid (NO₂) um 14 % und für Stickoxide (NO_x) um 8 % nachgewiesen. Die Schadstoffminderungen auch an Hintergrundmessorten um rund ¼ zeigen, dass europäische Maßnahmen zur Luftreinhaltung greifen und günstige meteorologische Bedingungen der letzten drei Jahre mit milden Wintern zu geringeren Jahresmittelwerten in Sachsen führten.

Um der Einschätzung der Wirkung der Umweltzone näherzukommen, wurde der Immissionsanteil durch die Motoremissionen der vorbeifahrenden Fahrzeuge für alle verkehrsnahen Messstellen über eine Verursacheranalyse nach dem Lenschow-Ansatz ermittelt. Dabei wurden Aufwirbelungen und Abriebe der Fahrzeuge, die selbst Elektroautos verursachen und in der gesetzlichen Messung Feinstaub PM₁₀ nicht zu trennen sind, eliminiert. An der Messstation Leipzig-Mitte im Zentrum der Umweltzone wurden i. d. R. die größten Minderungen ermittelt. Dort wurden für den Immissionsanteil durch die Motoremissionen der vorbeifahrenden Kraftfahrzeuge folgende Änderungen 2016 gegenüber 2010 nachgewiesen:

- Deutliche Abnahme für Ruß-Partikel gemessen als schwarzer Kohlenstoff um 59 % bzw. 1,1 µg/m³,
- Deutliche Abnahme für die Anzahl der Partikel von 30 bis 200 nm Größe um 74 % bzw. 3.130 P/cm³,
- Deutliche Abnahme für die Masse der Partikel von 30 bis 200 nm Größe um 81 % bzw. 2,0 µg/m³ und
- Stagnation für die gasförmigen Stickstoffoxide (NO_x).

Damit wurden in der Außenluft am Straßenrand in der Umweltzone für die motorbezogenen Partikel eine deutliche Reduzierung im Bereich von 59 bis 81 % und eine Stagnation für die gasförmigen Stickstoffoxide (NO_x) dokumentiert. Weil sich die Anzahl der Fahrzeuge nur wenig änderte, wird dies als Effekt der Modernisierung der Fahrzeugflotte, die durch die Umweltzone beschleunigt wurde, gewertet. Die deutliche Partikel-Minderung wurde durch die fortschreitende Durchdringung der Fahrzeugflotte mit Partikelfiltern erreicht. Als Auslöser

hierfür sind die strengeren Vorgaben bei den Euro-Abgasnormen und die Förderung der Partikelfilternachschrüfung bei älteren Dieselfahrzeugen zu sehen.

Die Ergebnisse der wissenschaftlichen Sondermessungen wurden genutzt, um die Feinstaubänderung nachzuweisen. Dies hat den methodischen Vorteil, dass keine neuen gesetzlichen Regulierungen für die Sondermessgrößen erforderlich waren. Die modernisierte Fahrzeugflotte im Zentrum von Leipzig reduzierte PM_{10} -Feinstaub um $1,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet aus den Ergebnissen der Rußmessungen und um $2,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet aus den Ergebnissen der Messungen von Partikeln der Größe von 30 bis 200 nm. Gegenüber dem Jahr 2010 wurde damit eine Minderung von 3,6 bis 6,3 % Feinstaub PM_{10} nachgewiesen. Dies ist zunächst eine sehr kleine Feinstaub-Minderung. Sie bezieht sich jedoch auf Verbrennungsprodukte, die den hoch toxischen Anteil im Feinstaub in der Außenluft bilden. Nach dem Wichmann-Ansatz sankt dadurch das Gesundheitsrisiko der Bevölkerung sehr deutlich. Die Umweltzone war damit eine sinnvolle und erfolgreiche Maßnahme der Stadtverwaltung Leipzig für den Schutz der Gesundheit ihrer Bürger. Gleichzeitig wird erkennbar, dass die Umweltzone eine wichtige, aber nicht die alleinige Maßnahme zur Reduzierung der Feinstaubbelastung sein kann.

Der NO_2 -Grenzwert der EU zum Schutz der menschlichen Gesundheit wurde auch 2015 und 2016 in der Umweltzone Leipzig nicht eingehalten, obwohl er bereits zum 1.1.2010 einzuhalten war und Leipzig u. a. für die Einführung der Umweltzone eine Fristverlängerung zur Einhaltung bis 1.1.2015 von der EU genehmigt bekam. Nicht die Umweltzone, sondern die Verringerung der Verkehrsstärke in Leipzig ist für die Minderung oder Stagnation des ΔNO_x -Immissionsanteils als Hauptquelle der NO_2 -Belastung am Straßenrand verantwortlich.

An der Messstation Lützner Straße in Leipzig wurde nachgewiesen, dass die modernisierte Fahrzeugflotte in der Umweltzone im statistischen Mittel pro Fahrzeug 2016 höhere NO_x -Emissionen aufwies als 2010 vor der Umweltzone. Es wird vermutet, dass dies auf den Ersatz von Benzin-PKW durch Diesel-PKW in der Fahrzeugflotte zurückgeht, da Dieselfahrzeuge deutlich höhere NO_x -Emissionen als Benziner verursachen. Das Ziel der Umweltzone, den ΔNO_x -Immissionsanteil aus dem Verkehr zu mindern wurde verfehlt. Die verschärften NO_x -EU-Abgasnormen für Diesel-PKW führten nicht zur Schadstoffminderung im realen Fahrbetrieb in der Stadt. Die Nutzer von Diesel-PKW wurden über die realen Stickoxidemissionen von den Autoherstellern unter dem Schein verschärfter Euro-Normen getäuscht. Deshalb wurde an straßennahen Orten der NO_2 -Grenzwert zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung nicht eingehalten. Für die Luftreinhaltung besteht dringender Handlungsbedarf, zumal der NO_2 -Grenzwert bereits 1999 von den Mitgliedsstaaten der EU verbindlich beschlossen wurde und seit dem 1.1.2010 einzuhalten war.

Dank

Die umfangreichen und anspruchsvollen Immissionsmessungen waren nur durch das herausragende Engagement eines sächsischen Teams verschiedener Einrichtungen möglich. Unser besonderer Dank gilt den Mitarbeitern der Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft in Radebeul, insbesondere Frank Rothe, Klemens Regir und Beate Schimmel für die Durchführung der hoch präzisen Messungen, die sehr hohe Datenverfügbarkeit, die Nutzung der Infrastruktur und den Mut für Neues, den die Integration der ergänzenden wissenschaftlichen Sondermessverfahren ins Luftgütemessnetz des FS Sachsens erforderte. Vom Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e. V. in Leipzig gilt unser besonderer Dank Maik Merkel, Kay Weinhold, André Sonntag und Dr. Thomas Tuch für die Bereitstellung der wissenschaftlichen Sondermesstechnik, die Durchführung der Sondermessungen, der Qualitätssicherung und Datvalidierung. Für die Datenzusammenstellung danken wir Annette Pausch und Kornelia Oelke vom Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in Dresden.

Literaturverzeichnis

- AUSPURG D. (2017) (Verkehrs- und Tiefbauamt der Stadt Leipzig): Entwicklung des Verkehrsaufkommens im Straßennetz Leipzig. Persönliche Mitteilung. E-Mail vom 04.09.2017.
- BAFA (2016): Statistik des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Förderverfahren und Förderzahlen zum nachträglichen Einbau von Partikelminderungssystemen in Sachsen; Mitteilung des BAFA vom 16.08.2016 auf Anfrage der Stadt Leipzig.
- BAFA (2017): Statistik des Bundesamtes für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle. Förderverfahren und Förderzahlen zum nachträglichen Einbau von Partikelminderungssystemen in Sachsen; Mitteilung des BAFA vom 01.06.2017 auf Anfrage der Stadt Leipzig
- BASTIAN, S. (2012): 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/>
- BImSchG (2016): Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 30. November 2016 (BGBl. I S. 2749)
- BImSchV (2010): 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV) vom 2. August 2010 (BGBl. S. 1065), geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 10. Oktober 2016 (BGBl. I S. 2244)
- BIRMILI, W.; WEINHOLD, K.; MERKEL, M.; RASCH, F.; SONNTAG, A.; WIEDENSOHLER, A.; BASTIAN, S.; SCHLADITZ, A.; LÖSCHAU, G.; CYRYS, J.; PITZ, M.; GU, J.; KUSCH, T.; FLENTJE, H.; QUASS, U.; KAMINSKI, H.; KUHLBUSCH, T. A. J.; MEINHARDT, F.; SCHWERIN, A.; BATH, O.; RIES, L.; WIRTZ, K. & FIEBIG, M. (2015): Long-term observations of tropospheric particle number size distributions and equivalent black carbon mass concentrations in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN), Earth Syst. Sci. Data, 8, 355-382, doi:10.5194/essd-8-355-2016, 2016. <http://www.earth-syst-sci-data.net/8/355/2016/>
- CAVALLI, F.; VIANA, M.; YTTTRI, K.E.; GENBERG, J.; PUTAUD, J.-P.: Toward a standardised thermal-optical protocol for measuring atmospheric organic and elemental carbon: the EUSAAR protocol. Atmos.Meas.Tech. 3, 79-89, 2010
- DIETZ, V. (2016):. Persönliche Mitteilung vom 9.3.2016
- Dresden (2011): Luftreinhalteplan für die Landeshauptstadt Dresden. Hrsg.: Landeshauptstadt Dresden, Wirtschaft und Umweltamt. 17. Mai 2011.
- DUH (2016) Deutsche Umwelthilfe e.V.: Pressemitteilung „Saubere Luft für München: Deutsche Umwelthilfe und Verkehrsclub Deutschland siegen vor Gericht“ 29.6.2016. <http://www.presseportal.de/print/3365838-print.html> am 4.7.2016
- EBERT, M. (2014): Persönliche Mitteilung von Prof. Dr. Martin Ebert, TU Darmstadt, am 17.12.2014
- ECO (2012) THE ECOLOGICAL COUNCIL: Luftverschmutzungen an Flughäfen. www.ecocouncil.dk
- 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 (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.
- FRANKE, J. (2016): Abweichungen der Flächenmittel für Sachsen vom meteorologischen Referenzzeitraum. E-Mail vom 8.9.2016. Quelle: Daten des Deutschen Wetterdienstes und Berechnungen durch LfULG, Referat 51.

- HAUSBERGER, S. (2010): Neue Emissionsfaktoren und deren Auswirkungen auf die Belastung an NO₂ und Feinstaub. KRdL-Expertenforum am 2.12.2010, Bonn. ISBN 978-3-931384-70-8
- KBA (2016): Statistik des Kraftfahrt-Bundesamtes. Bestand an Kraftfahrzeugen am 1. Januar 2016 nach der Kennzeichnungsverordnung für das Bundesland Sachsen; Mitteilung des KBA vom 28.06.2016 auf Anfrage der Stadt Leipzig.
- KBA (2017A): Statistik des Kraftfahrt-Bundesamtes. Bestand an PKW am 1. Januar 2017 nach ausgewählten Kraftstoffarten.
https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/2017_b_umwelt_dusl.html?nn=663524
- KBA (2017B): Statistik des Kraftfahrt-Bundesamtes. Bestand an Kraftfahrzeugen nach der Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung – 35 BImSchV.
- KIRCHNER, U. (2010) (Ford Forschungszentrum Aachen GmbH): Eigenschaften von Partikeln im Abgas moderner PKW's. KRdL-Expertenforum "Feine und ultrafeine Partikel in der Außenluft". Bonn, 24.03.2010.
- KÜNZI, L.; KRAPP, M.; DAHER, N.; DOMMEN, J.; JEANNET, N.; SCHNEIDER, S.; PLATT, S.; SLOWIK, J. G.; BAUMLIN, N.; SALATHE, M.; PRÉVÔT, A. S. H.; KALBERER, M.; STRÄHL, C.; DÜMBGEN, L.; SIOUTAS, C.; BALTENSPERGER, U. & GEISER, M. (2015): Toxicity of aged gasoline exhaust particles to normal and diseased airway epithelia. *Scientific Reports* | 5:11801 | DOI: 10.1038/srep11801
- LAI (2016): Handlungsbedarf und -empfehlungen zur Einhaltung der NO₂-Grenzwerte. Hrg.: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI). <http://www.lai-immissionsschutz.de/servlet/is/20171/>
- LENSCHOW, P.; ABRAHAM, H.-J.; KUTZNER, K.; LUTZ, M.; PREUß, J.-D. & REICHENBÄCHER, W. (2001): Some ideas about the sources of PM₁₀. *Atmospheric Environment*, 35 (Supplement No. 1), S23-S33. 2001
- LfULG (2015a): Aktualisierte Modellierung, Prognose 2015 bewohnte Straßenabschnitte,
http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/Prognose_2015_bewohnte_Strassenabschnitte.xls
- LfULG (2015c): Entwurf Analyse für Fortschreibung Luftreinhalteplan Dresden, bisher unveröffentlicht. 2015
- LfULG (2016a): FRANKE, JOHANNES; LÖSCHAU, GUNTER; PAUSCH, ANNETTE: Luftqualität in Sachsen. Jahresbericht 2015. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/26647>
- LfULG (2016b): Entwurf Analyse für Fortschreibung Luftreinhalteplan Leipzig, bisher unveröffentlicht. 2016
- LfULG (2016c): Entwurf Analyse für Fortschreibung Luftreinhalteplan Dresden, bisher unveröffentlicht. 2016
- LÖSCHAU, G. & BIRMILI, W. (2008): Partikelfraktionen in Sachsen. 43. Messtechnisches Kolloquium. Mettlach, April 2008.
- LÖSCHAU, G. & GERWIG, H. (2009): Messung der Anzahl von ultrafeinen Partikeln in der Außenluft in einem Luftgütemessnetz – Teil 1: Maßnahmen zur Qualitätskontrolle bei Partikelanzahlverteilungen. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 69 (2009) Nr. 11/12, S. 475-480
- LÖSCHAU, G. (2006): Partikelanzahl in verkehrsnaher Außenluft – Teil 1: Belastungsniveaus und Tendenz. *Gefahrstoffe Reinhalt. Luft* 66 (2006) Nr. 10, 431-435.
- LÖSCHAU, G. (2011b): 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>
- LÖSCHAU, G.; BIRMILI, W.; ENGLER, C.; WEINHOLD, K.; GNAUK, T.; BRÜGGEMANN, E.; MÜLLER, K.; HERRMANN, H.; WIEDENSOHLER, A.: 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, G.; WIEDENSOHLER, A.; BIRMILI, W.; RASCH, F.; SPINDLER, G.; MÜLLER, K.; WOLF, U.; HAUSMANN, A.; HERRMANN, H. (2012): Umweltzone Leipzig, Teil 1 – Ausgangsbeurteilung. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Mai 2012. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/14411>
- LÖSCHAU, G.; WIEDENSOHLER, A.; BIRMILI, W.; RASCH, F.; SPINDLER, G.; MÜLLER, K.; WOLF, U.; HAUSMANN, A.; BÖTTGER, M.; ANHALT, M.; HERRMANN, H. (2013): Umweltzone Leipzig, Teil 2 – Immissionssituation 2011 während der Einführung der Umweltzone und erste Bewertung der Wirkung der Umweltzone. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Mai 2013. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/18590>
- LÖSCHAU, G.; BASTIAN, S. (2014a): Ultrafeine Partikel – Beispiele aus dem Alltag. Statuskolloquium Luft 2014. 8.12.14. Dresden
- LÖSCHAU, G.; WIEDENSOHLER, A.; BIRMILI, W.; RASCH, F.; SPINDLER, G.; MÜLLER, K.; WOLF, U.; HAUSMANN, A.; BÖTTGER, M.; ANHALT, M.; DIETZ, V.; HERRMANN, H. (2014b): Umweltzone Leipzig, Teil 3 – Immissionssituation 2010-2013 und Bewertung der Wirkung der Umweltzone. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dezember 2014. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23885>
- LÖSCHAU, G.; WIEDENSOHLER, A.; BIRMILI, W.; RASCH, F.; SPINDLER, G.; MÜLLER, K.; WOLF, U.; HAUSMANN, A.; BÖTTGER, M.; ANHALT, M.; DIETZ, V.; HERRMANN, H. (2015): Umweltzone Leipzig, Teil 4 – Immissionssituation 2010-2014 und Bewertung der Wirkung der Umweltzone. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dezember 2015. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/25641>
- LÖSCHAU, G.; WIEDENSOHLER, A.; BIRMILI, W.; RASCH, F.; SPINDLER, G.; MÜLLER, K.; WOLF, U.; HAUSMANN, A.; BÖTTGER, M.; ANHALT, M.; DIETZ, V.; HERRMANN, H. (2016): Umweltzone Leipzig, Teil 5 – Immissionssituation 2010-2015 und Bewertung der Wirkung der Umweltzone. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Dezember 2016. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/27471>
- LÖSCHAU, G.; WIEDENSOHLER, A.; WEHNER, B.; BIRMILI, W. & GERWIG, H. (2010): Messung der Anzahl von ultrafeinen Partikeln in der Außenluft in einem Luftgütemessnetz – Teil 2: Ergebnisse einer verkehrsnahen Langzeitmessung. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 70 (2010) Nr. 5, S. 183-187
- LÖSCHAU, G.; WIEDENSOHLER, A.; WEHNER, B.; BIRMILI, W. & GERWIG, H. (2010): Messung der Anzahl von ultrafeinen Partikeln in der Außenluft in einem Luftgütemessnetz – Teil 2: Ergebnisse einer verkehrsnahen Langzeitmessung. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 70 (2010) Nr. 5, S. 183-187
- MÖNCH, L.; VITZTHUM VON ECKSTÄDT, CH. & LANGE, M. (2015): RDE – Lösung für die Zukunft? Umweltbundesamt, Deutschland. 13. FAD Konferenz. Dresden am 4. und 5. November 2015
- MORFELD, P.; SPALLEK, M. & GRONEBERG, D. (2011): Zur Wirksamkeit von Umweltzonen: Design einer Studie zur Ermittlung der Schadstoffkonzentrationsänderung für Staubpartikel (PM₁₀) und andere Größen durch Einführung von Umweltzonen in 20 deutschen Städten. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin* 61, 148-165, 2011
- MA, N.; BIRMILI, W.; RASCH, F.; WEINHOLD, K.; MERKEL, M.; SUN, J.; LÖSCHAU, G.; SPINDLER, G.; ANHALT, M.; WIEDENSOHLER, A. (2017): Effects of the Low Emission Zone on the Black Carbon Mass Concentration and Particle Number Size Distribution: A Case Study for the City Leipzig, Germany. *To be submitted to Atmospheric Environment*
- PIETERS, N.; KOPPEN, G.; VAN POPPEL, M.; DE PRINS, S.; COX, B.; DONS, E.; NELEN, V.; PANIS, L. I.; PLUSQUIN, M.; SCHOETERS, G.; NAWROT, T. S. (2015): Blood Pressure and Same-Day Exposure to Air Pollution at School: Associations with Nano-Sized to Coarse PM in Children. *Environ Health Perspect* 2015; 123 (7): 737-742
- RASCH, F.; BIRMILI, W.; WEINHOLD, K.; NORDMANN, S.; SONNTAG, A.; SPINDLER, G.; HERRMANN, H.; WIEDENSOHLER, A.; LÖSCHAU, G.: Signifikante Minderung von Ruß und Anzahl ultrafeiner Partikel in der Außenluft als Folge der Umweltzone in Leipzig. *Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft* 73 (2013) Nr. 11/12, S. 483-489

- SCHLADITZ, A. (2012): UltraSchwarz. Ultrafeinstaub und Gesundheit im Erzgebirgskreis und Region Usti.
<http://www.ultraschwarz-ziel3.de/>
- SCHLADITZ, A.; MERKEL, M.; BASTIAN, S.; BIRMILI, W.; WEINHOLD, K.; LÖSCHAU, G.; WIEDENSOHLER, A. (2013): A concept of an automated function control for ambient aerosol measurements using mobility particle size spectrometers. Atmospheric Measurement Techniques Discussions. 2013, Vol. 6 Issue 6, p10551-10570. 20p
- SPINDLER, G.; GRÜNER, A.; MÜLLER, K.; SCHLIMPER, S. & HERRMANN, H. (2013): Long-term size-segregated particle (PM₁₀, PM_{2.5}, PM₁) characterization study at Melpitz – influence of air mass inflow, weather conditions and season. J. Atmos. Chem. 2013, Vol 70, p165-195. 20p.
- STADT LEIPZIG (2009): Luftreinhalteplan für die Stadt Leipzig, Stand 18. Dezember 2009. Hrsg.: Stadt Leipzig. Der Oberbürgermeister. Amt für Umweltschutz
http://www.leipzig.de/de/buerger/umwelt/luft/luftreinhalteplan_leipzig.shtml
- STADT LEIPZIG (2010): Statistisches Jahrbuch 2010. Hrsg.: Stadt Leipzig. Der Oberbürgermeister. Amt für Statistik und Wahlen Leipzig: S. 157 http://www.leipzig.de/fileadmin/mediendatenbank/leipzig-de/Stadt/02.1_Dez1_Allgemeine_Verwaltung/12_Statistik_und_Wahlen/Statistik/Statistisches_Jahrbuch_Leipzig_2010.pdf
- STADT LEIPZIG (2013): Jahresbericht 2012 zur Umsetzung der Maßnahmen des Luftreinhalteplans der Stadt Leipzig. Hrsg.: Stadt Leipzig. Der Oberbürgermeister. Amt für Umweltschutz.
<http://www.leipzig.de/umwelt-und-verkehr/luft-und-laerm/luftreinhaltung/luftreinhalteplan-der-stadt-leipzig/>
- STADT LEIPZIG (2014): Jahresbericht 2013 zur Umsetzung der Maßnahmen des Luftreinhalteplans der Stadt Leipzig. Hrsg.: Stadt Leipzig. Der Oberbürgermeister. Amt für Umweltschutz.
<http://www.leipzig.de/umwelt-und-verkehr/luft-und-laerm/luftreinhaltung/luftreinhalteplan-der-stadt-leipzig/>
- STADT LEIPZIG (2015): Stadtentwicklungsplan Verkehr und öffentlicher Raum, Erste Fortschreibung. Hrsg.: Stadt Leipzig. Der Oberbürgermeister. Dezernat Stadtentwicklung und Bau: S. 14.
- STADT LEIPZIG (2016): Jahresbericht 2014 zur Umsetzung der Maßnahmen des Luftreinhalteplans der Stadt Leipzig. Hrsg.: Stadt Leipzig. Der Oberbürgermeister. Amt für Umweltschutz.
<http://www.leipzig.de/umwelt-und-verkehr/luft-und-laerm/luftreinhaltung/luftreinhalteplan-der-stadt-leipzig/>
- STADT LEIPZIG (2017A): Entwurf Luftreinhalteplan für die Stadt Leipzig, Stand August 2017. Amt für Umweltschutz: unveröffentlicht.
- STADT LEIPZIG (2017B): Statistisches Jahrbuch 2017. Vorabversion. Hrsg.: Stadt Leipzig. Der Oberbürgermeister. Amt für Statistik und Wahlen Leipzig.
http://statistik.leipzig.de/statpubl/content/12_statistik-und-wahlen/jahrbuecher/Kapitel10.pdf
- WEINBRUCH, S.; WORRINGEN, A.; EBERT, M.; SCHEUVENS, D.; KANDLER, D.; PFEFFER, U.; BRUCKMANN, P. (2014): A quantitative estimation of the exhaust, abrasion and resuspension components of particulate traffic emissions using electron microscopy. Atmospheric Environment, 99, 175–182, December 2014
- WEINMAYR, G.; HENNIG, F.; FUKS, K.; NONNEMACHER, M.; JAKOBS, H.; MÖHLENKAMP, S.; ERBEL, R.; JÖCKEL, K. H.; HOFFMANN, B.; MOEBUS, S. (Heinz Nixdorf Recall Investigator Group) (2015): Long-term exposure to fine particulate matter and incidence of type 2 diabetes mellitus in a cohort study: effects of total and traffic-specific air pollution. Environ Health 2015
- WHO (2005): Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005.
- WHO (2012): IARC: Diesel engine exhaust carcinogenic. World Health Organization. Press release N° 213. 12 June 2012.

- WHO (2014): Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012. Switzerland. 2014.
http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf
- WICHMANN, H.-E. (2008): Umweltmed Forschung Prax 13(1) 7 – 10 (2008)
- WICHMANN, H.-E. (2011): Umweltzonen aus der Sicht des Gesundheitsschutzes. Pressekonferenz Deutsche Umwelthilfe 7.4.2011 Berlin.
- WICHMANN-FIEBIG, M. (UBA) (2014): Die Zukunft der Luftreinhaltung in Deutschland und der EU. Statuskolloquium Luft 2014. 8.12.14. Dresden
- WIEDENSOHLER, A.; BIRMILI, W.; NOWAK, A.; SONNTAG, A.; WEINHOLD, K.; MERKEL, M.; WEHNER, B.; TUCH, T.; PFEIFER, S.; FIEBIG, M.; FJÄRAA, A. M.; ASMI, E.; SELLEGRI, K.; DEPUY, R.; VENZAC, H.; VILLANI, P.; LAJ, P.; AALTO, P.; OGREN, J. A.; SWIETLICKI, E.; WILLIAMS, P.; ROLDIN, P.; QUINCEY, P.; HÜGLIN, C.; FIERZ-SCHMIDHAUSER, R.; GYSEL, M.; WEINGARTNER, E.; RICCOBONO, F.; SANTOS, S.; GRÜNING, C.; FALON, K.; BEDDOWS, D.; HARRISON, R.; MONAHAN, C.; JENNINGS, S. G.; O'DOWD, C. D.; MARINONI, A.; HORN, H.-G.; KECK, L.; JIANG, J.; SCHECKMAN, J.; MCMURRY, P. H.; DENG, Z.; ZHAO, C. S.; MOERMAN, M.; HENZING, B.; DE LEEUW, G.; LÖSCHAU, G. & BASTIAN, S. (2012): 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>
- WINQUIST, A.; SCHAUER, J. J.; TURNER, J. R.; KLEIN, M. & SARNAT, S. E. (2015): Impact of ambient fine particulate matter carbon measurement methods on observed associations with acute cardiorespiratory morbidity. J Expo Sci Environ Epidemiol 2015; 25 (2): 215-221

Anlage 1: Luftreinhaltemaßnahmen in Leipzig und Dresden

Einleitung

Konzepte zur Luftreinhaltung bestehen nicht aus Einzelmaßnahmen, sondern aus einer Vielzahl von Maßnahmen. Sie werden weiterhin auf verschiedenen Verantwortungsebenen (Stadt, Land, Europa, Welt) aufgestellt und umgesetzt. Sie sind auch nicht isoliert zu anderen Konzepten wie z. B. zum Klimaschutz, zur Stadtentwicklung und zur Mobilität. Die Umsetzung von Maßnahmen ist z. T. mit einem erheblichen finanziellen Aufwand verbunden. Dabei sind Akzeptanz und Hilfsbereitschaft der Bevölkerung und Unternehmen ausschlaggebend für den Erfolg [BEISHEIM 2014]. Nachfolgend wird von den Städten Leipzig und Dresden ein Einblick gewährt, welche Maßnahmen beschlossen und insbesondere im Zeitraum von 2010 bis 2016 umgesetzt wurden.

Maßnahmen zur Luftreinhaltung von 2010 bis 2016 in der Stadt Leipzig

Mario Anhalt (Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz, Abteilung Umweltvorsorge, Sachgebiet Stadtökologie)

Wie im Kapitel 4 dargelegt, hat sich die Luftqualität in Leipzig in den Jahren 2010 bis 2016 verbessert. Dennoch gelang es in diesem Zeitraum nicht durchgängig, die Luftbelastung mit Stickstoffdioxid (NO₂) und Feinstaub (PM₁₀) auf ein Niveau unterhalb der zulässigen europäischen Grenzwerte zu senken. Mit dem Luftreinhalteplan aus dem Jahr 2009 [Stadt Leipzig, 2009] konnte zwar die Luftschadstoffbelastung mit Ruß, dem hochtoxischen Anteil des PM₁₀-Feinstaubes, deutlich reduziert werden. Hier wurde eine Minderung des motorbezogenen Anteils um bis zu 59 % im Jahr 2016 gegenüber dem Jahr 2010 und damit ein großer Gesundheitsgewinn für die Leipziger Bevölkerung erzielt (Vergl. Kapitel 4.3). Allerdings gelang es nicht, den Kurzzeitgrenzwert für PM₁₀ an den beiden verkehrsnahen Messstationen im Stadtgebiet durchgängig zu unterschreiten. Das hohe Niveau der NO₂-Belastung hat sich im eingangs betrachteten Zeitraum ebenfalls verringert. Eine dauerhafte Unterschreitung des Grenzwertes für das Jahresmittel der Belastung konnte aber auch in Bezug auf NO₂ nicht gewährleistet werden.

Die Gründe hierfür liegen weniger in einer unzureichenden Umsetzung des Luftreinhalteplans der Stadt Leipzig [STADT LEIPZIG 2009]. Über die jeweiligen Maßnahmen und deren Umsetzung wurde wiederkehrend berichtet [STADT LEIPZIG 2013, STADT LEIPZIG 2014, STADT LEIPZIG 2016]. Die Mehrzahl der geplanten Maßnahmen wurde überwiegend umgesetzt, etwa ein Fünftel der Maßnahmen wurde teilweise und nur wenige Maßnahmen wurden nicht bzw. kaum umgesetzt [STADT LEIPZIG 2017A]. Relevant ist in diesem Zusammenhang, dass auch bei vollständiger Umsetzung aller Maßnahmen des Luftreinhalteplans aus dem Jahr 2009 eine kurzfristige Einhaltung des NO₂-Grenzwertes nicht ersichtlich ist. Wie in [LÖSCHAU 2016] bereits berichtet, kann als maßgeblicher Grund hierfür die mangelhafte Einhaltung der gesetzlichen Abgasstandards bei Diesel-PKW unter realen Betriebsbedingungen und die stete Zunahme ihres Anteils in der Fahrzeugflotte angesehen werden. Waren nach Angaben des Kraftfahrt-Bundesamtes (KBA) im Jahr 2010 noch 19 % der PKW in Leipzig als Diesel [STADT LEIPZIG 2010] zugelassen, stieg dieser Anteil laut KBA im Jahr 2016 auf rund 26 % [STADT LEIPZIG 2017B]. Dieser Wert ist angesichts des bundesweiten Durchschnitts an zugelassenen Diesel-PKW in Höhe von 33 % [KBA 2017A] noch günstig, was u. a. die vergleichsweise moderate Überschreitung des NO₂-Immissionsgrenzwertes sowohl an den Luftmessstationen als auch im Ergebnis der stadtweiten rechnerischen Situationsanalyse für Leipzig erklärt [STADT LEIPZIG 2017A].

Die Entwicklung der Luftschadstoffbelastung in den Jahren 2010 – 2016 und die rechnerische auf das Jahr 2018/2020 bezogene Prognose der Luftschadstoffbelastung geben aktuell Anlass dazu, den Luftreinhalteplan aus dem Jahr 2009 fortzuschreiben und um weitere Maßnahmen zu ergänzen.

Tabelle 9: Darstellung ausgewählter mit dem Luftreinhalteplan 2009 beschlossener Maßnahmen und Stand deren Umsetzung als Gesamtergebnis der Jahre 2010 – 2015

| Nr. | Maßnahme | Zuständigkeit (* = hauptverantwortlich) | Realisierung | Status | |
|---|--|--|-------------------------|---|--|
| | | | | Umsetzung | Fortgang |
| | | | | ■■■■ vollständig ■■■■ überwiegend ■■■■ teilweise ■■■■ kaum ■■■■ keine | ✓ umgesetzt* ⚙️ fortgeführt ✕ entfällt * oder etabliert |
| Verkehr | | | | | |
| M1.1 | Straßenbaumaßnahmen | Stadt Leipzig | 2009-2015 | ■■■■ | ✓ |
| M1.4 | Umstellung des kommunalen und gewerblichen Fuhrparks auf schadstoff-reduzierte Antriebe/Fahrzeuge | Stadt Leipzig*, LSW | 2010 ff. | ■ ■■■■ | ⚙️ |
| M1.6 | Weiterentwicklung des Parksystems (Bewirtschaftung, P+R, Leitsystem) | Stadt Leipzig | lfd. | ■ ■■■■ | ⚙️ |
| M1.8 | Erhöhung der ÖPNV-Attraktivität | Stadt Leipzig*, LVB*, LSW | lfd., 2012 (Citytunnel) | ■ ■■■■ | ⚙️ |
| M1.12 | Einführung einer Umweltzone | Stadt Leipzig | 2011 | ■■■■ | ✓ |
| M1.14 | Weiterer Ausbau und Modernisierung des ÖPNV-Netzes | LVB | lfd. | ■■■■ | ⚙️ |
| M1.15 | Ergänzung/Erneuerung der Fahrzeug-flotte für den ÖPNV bei der LVB durch die Beschaffung von Hybridbussen | LVB | ab 2011 bis 2015 | ■ ■■■■ | ✓ |
| M1.22 | Erhöhung der Attraktivität des Radverkehrs | Stadt Leipzig | ab 2009 | ■ ■■■■ | ⚙️ |
| M1.27 | Verkehrsreduzierung an Abschnitten den B 181, Dufourstraße, Harkortstraße, Käthe-Kollwitz-Str. [...], Durchfahrverbot für LKW > 12 Tonnen in der Harkortstr. | Stadt Leipzig | ab 2010 | ■ ■■■■ | ⚙️ |
| Gewerbe und Industrie | | | | | |
| M2.5 | Nass-Straßenreinigung im Baustellenbereich | Stadt Leipzig*, SRL | bei Bedarf | ■■■■ | ✓ |
| M2.6 | Verstärkte Baustellenkontrollen | Stadt Leipzig | ab 2010 | ■ ■■■■ | ✕ |
| Raum- und Stadtplanung | | | | | |
| M4.2 | Verstärkte Begrünung von Straßenraum und Straßenrand | Stadt Leipzig | bis 2015 | ■ ■■■■ | ⚙️ |
| Öffentlichkeits- und Gremienarbeit | | | | | |
| M5.1 | Öffentlichkeitsarbeit in Bezug auf Maßnahmen des LRP | Stadt Leipzig | ab 2009 | ■■■■ | ⚙️ |

Der Fortschreibungsprozess hat im Jahr 2015 begonnen. Dazu wurden verschiedene Interessengruppen, darunter Umweltverbände, Automobilclubs, die Industrie- und Handelskammer sowie Handwerkskammer zu Leipzig sowie Stadtbezirksbeiräte und Ortschaftsräte eingebunden und um Maßnahmenvorschläge gebeten.

In der Zeit vom 4. Januar bis zum 1. März 2016 waren die Bürger der Stadt Leipzig und Interessierte dazu eingeladen, sich u. a. in einem Online-Dialog mit den Themen Luftreinhaltung und Lärminderung auseinanderzusetzen und Maßnahmen-vorschläge für die Fortschreibung beider Fachpläne zu unterbreiten. Die am meisten diskutierten Themen sind auf der Webseite der Stadt Leipzig unter <http://www.leipzig.de/umwelt-und-verkehr/luft-und-laerm/dialog-luft-laerm/> abrufbar.

Der aktuelle Entwurf des Luftreinhalteplanes [STADT LEIPZIG 2017] enthält eine Bewertung zum Umsetzungsstand der Maßnahmen des Luftreinhalteplans aus dem Jahr 2009.

Um an die Berichterstattung insbesondere in Teil 3 und 4 [LÖSCHAU 2014], [LÖSCHAU 2015] der vorliegenden Berichtsreihe zu einzelnen Maßnahmen des Luftreinhalteplans der Stadt Leipzig und deren Umsetzung anzuknüpfen, wird in Tabelle 9 ein Überblick für den Zeitraum 2010 bis 2015 gegeben.

Wie bereits in den vorangegangenen Berichten (Teil 2 – 5) [LÖSCHAU 2013, 2014, 2015, 2016] dargestellt, sei die im Luftreinhalteplan (LRP 2009) enthaltene Kernmaßnahme „Umweltzone“ wegen ihrer Bedeutung an dieser Stelle wieder herausgegriffen und hinsichtlich erteilter Ausnahmen sowie im Hinblick auf die Einhaltung bzw. Kontrolle des Fahrverbotes näher beleuchtet.

Mit Tabelle 10 folgt eine Auflistung der im Jahr 2016 zur Anzeige gebrachten Verstöße gegen die Kennzeichnungspflicht sowie der erteilten Ausnahmen vom Fahrverbot innerhalb der Umweltzone.

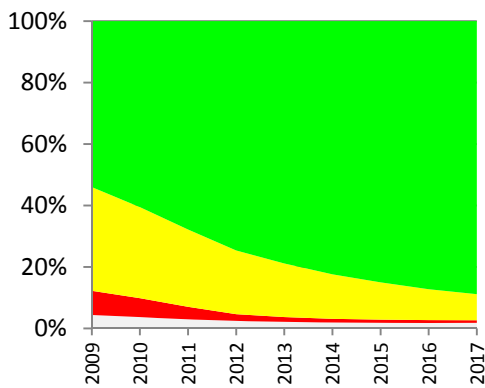
Tabelle 10: Verstöße gegen die Kennzeichnungspflicht (fließender und ruhender Verkehr) sowie Anzahl der vom Fahrverbot der Umweltzone ausgenommenen Kfz mit Stand zum 31.12.2016

| Jahr | angezeigte Verstöße | per Einzelgenehmigung ausgenommene Kfz | | per öffentlich-rechtlichen Vertrag ausgenommene Kfz Busse im ÖPNV | Gesamtsumme Ausnahmen |
|------|---------------------|--|------|--|-----------------------|
| | | PKW | NFZ* | | |
| 2016 | 7.183 | 21 | 60 | 21 | 102 |

* einschließlich Wohnmobile

Mit der Verringerung der Zahl an Ausnahmen vom Fahrverbot in der Umweltzone schritt die Modernisierung der Fahrzeugflotte weiter voran. Bis zum Ende des Jahres 2016 entsprachen in Leipzig schätzungsweise 90 % der kennzeichnungspflichtigen Diesel-PKW dem Abgasstandard der grünen Plakette. Der hohe Prozentsatz resultiert aus Diesel-PKW, die aufgrund ihrer Euro-Schadstoffnorm bereits eine grüne Plakette erhalten (89 %) und Diesel-PKW, die aufgrund ihrer Euro-Schadstoffnorm eine gelbe Plakette erhalten (8 %) (nach [KBA 2017b]), von denen jedoch anzunehmen ist, dass sie zum Erhalt der grünen Plakette mit einem Partikelfiltersystem nachgerüstet wurden. Von den in Leipzig zugelassenen kennzeichnungspflichtigen Nutzfahrzeugen entsprachen zum Ende des Jahres 2016 insgesamt 85 % dem Abgasstandard der grünen Plakette, siehe Abbildung 18. Im Vergleich dazu lag der Anteil in der Stadt Dresden bei 77 % und in Sachsen bei 72 % (nach [KBA 2017b]). Die realen Zahlen liegen vermutlich auch hier höher, da Nachrüstungen statistisch nicht erfasst sind. Für die Stadt Leipzig ist daher schätzungsweise von einem Anteil von mehr als 85 % an kennzeichnungspflichtigen Nutzfahrzeugen auszugehen, die zum Ende des Jahres 2016 dem Abgasstandard der grünen Plakette entsprachen.

Diesel-PKW



Nutzfahrzeuge

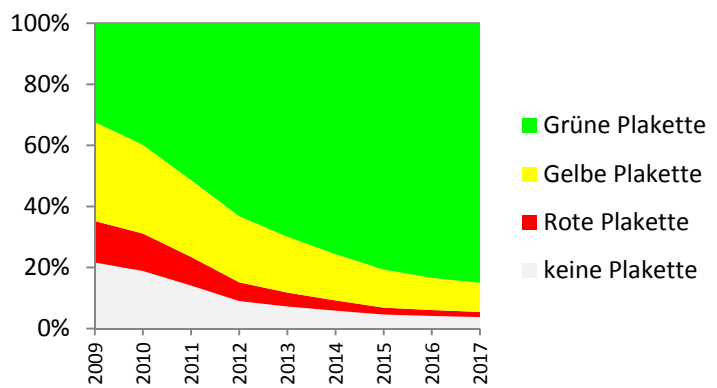


Abbildung 18: Prozentualer Anteil der Schadstoffgruppen (Plaketten) bei den nach der 35. BImSchV kennzeichnungspflichtigen Diesel-PKW und Nutzfahrzeugen in Leipzig zum 1. Januar des jeweiligen Jahres (Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt)

In Sachsen wurden von 2009 bis zum Jahr 2016 insgesamt rund 19.000 Partikelfilternachrüstungen bei PKW und leichten Nutzfahrzeugen durch den Bund gefördert, davon etwa 5.500 in Leipzig und 1.700 in Dresden [BAFA 2017], vgl. Abbildung 19.

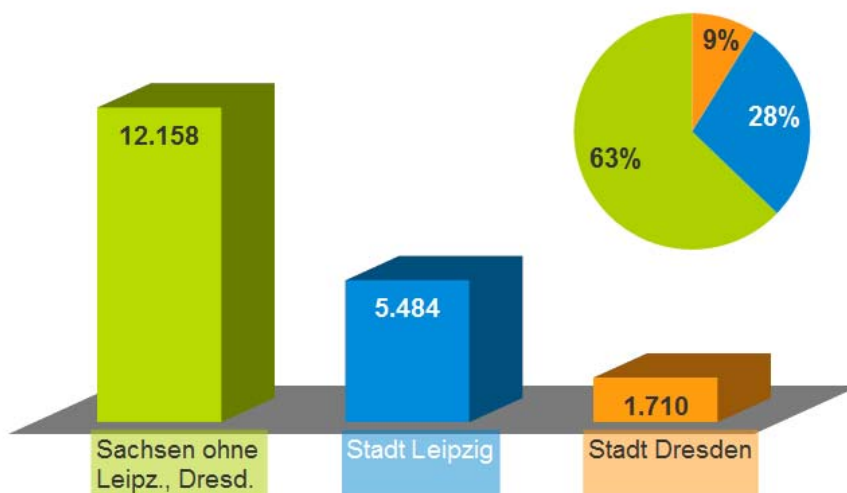


Abbildung 19: Geförderte Partikelfilternachrüstungen bei PKW, einschließlich Sonder-Kfz und leichten Nutzfahrzeugen in Sachsen, Leipzig und Dresden im Zeitraum 2009 bis 2016 nach [BAFA 2017]

Im Jahr 2015 wurde in der Stadt Leipzig mit der Fortschreibung des Integrierten Stadtentwicklungskonzeptes (INSEK) begonnen. Dieses setzt sich insbesondere mit dem aktuellen und noch erwartbaren Zuwachs der Bevölkerung in Leipzig vor dem Zeithorizont bis 2030 auseinander. Um die Lebensqualität in der Stadt Leipzig langfristig zu sichern und darüber hinaus weiter anzuheben, liegt ein Fokus auf der doppelten Innenentwicklung. Gemeint ist in diesem Sinne eine verträgliche Nachverdichtung mittels Wohn- u. Versorgungseinrichtungen unter Beachtung bspw. einer aus lufthygienischen und stadtklimatischen Erwägungen heraus hinreichenden Frischluftversorgung durch den Erhalt und die Erweiterung urbaner Grünstrukturen und Freiräume. Ein weiterer Schwerpunkt des INSEK liegt u. a. darauf, die Voraussetzungen dafür zu schaffen, mehr Menschen für eine nachhaltige Deckung ihrer Mobilitätsbedürfnisse zu gewinnen. Dazu sieht der im Jahr 2015 beschlossene Stadtentwicklungsplan Verkehr und öffentlicher Raum als Ziel

einen Modal Split von 70 % Umweltverbund und 30 % motorisiertem Individualverkehr bis zum Jahr 2025 vor [STADT LEIPZIG 2015].

Verkehrsentwicklung in Leipzig

Das Kfz-Verkehrsaufkommen auf dem Leipziger Straßennetz ist, über den Zeitraum 2006 bis 2016 betrachtet, im Mittel etwa konstant geblieben. Beim Schwerverkehr ist ein leichter Anstieg um 5 % im Jahr 2016 gegenüber dem Jahr 2006 feststellbar. Eine deutliche Zunahme kann für den Radverkehr mit einem Plus von ca. 50 % im Jahr 2016 gegenüber dem Jahr 2006 ermittelt werden.

Trotz des Bevölkerungs- und Arbeitsplatzzuwachses in Leipzig sind im o. g. Zeitraum im Mittel beim Kfz-Verkehr insgesamt und anteilig daran beim Schwerverkehr nur geringe Änderungen feststellbar. Die Angaben beruhen auf Ergebnissen derzeit noch nicht abgeschlossener Analysen und Auswertungen zur Entwicklung des Verkehrsaufkommens auf dem Leipziger Straßennetz [Auspurg 2017].

Maßnahmen zur Luftreinhaltung von 2010 bis 2016 in der Stadt Dresden

Volker Dietz (Landeshauptstadt Dresden, Geschäftsbereich 7, Umweltamt, Stadtökologie)

Der Luftreinhalteplan aus dem Jahr 2011 hatte einen Planungshorizont, der 2015 endete. Was wurde erreicht? Ein Blick auf die erreichten Zahlen zeigt, dass Dresden noch nicht „fertig“ ist, obwohl die prognostizierten Verkehrszahlen mit den Maßnahmen des Planes unterschritten wurden. Bei den verbleibenden PM10 Überschreitungen muss angemerkt werden, dass hier die Grenzwertüberschreitungen an einen Jahresmittelwert festgemacht werden, ab dem rein statistisch mehr als 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes im Jahr möglich werden. Der Jahresmittelwert wird schon lange überall sicher eingehalten. Auf Grund eines großen Anteils von Quellen außerhalb der Stadt, hat Dresden wie auch andere Städte einen relativ kleinen Einfluss auf die Anzahl der im Jahr anfallenden Überschreitungen des Tagesmittelwertes bei PM10. 2015 und 2016 wurde dieser Werte an den Messstationen sicher eingehalten. Stickoxide werden dagegen in Städten größtenteils selbst „produziert“. Ein steigender Dieselanteil im privaten Bereich sorgt zusammen mit ungenügender Abgasbehandlung dafür, dass hier Ergebnisse schlechter ausfallen als das 2010 prognostiziert wurde. Dresden arbeitet deswegen an einem neuen Luftreinhalteplan für den Zeitraum bis 2020.

Tabelle 11: Betroffenheit von Grenzwertüberschreitungen für NO₂ und PM₁₀ in Dresden

| | NO ₂ –Grenzwertüberschreitungen bezogen auf den Jahresmittelwert | | PM ₁₀ –Grenzwertüberschreitungen bezogen auf einen Äquivalenzwert von 30 µg/m ³ als Jahresmittelwert | |
|-------------------|---|-------------|--|-------------|
| | Betroffene | Gesamtlänge | Betroffene | Gesamtlänge |
| Ausgangslage 2009 | 16000 | 35 km | 13500 | 24 km |
| Istfall 2015 | 1287 | 1,8 km | 699 | 0,96 km |

Welche Erfahrungen wurden in den letzten Jahren gemacht, was wurde erreicht?

- Eine deutliche Abnahme für Ruß-Partikel gemessen als schwarzer Kohlenstoff um 53 % bzw. 1,4 µg/m³ und für die Anzahl der Partikel von 30 bis 200 nm Größe um 24 % bzw. 1.500 P/cm³ an der Messstation Dresden-Nord.

- Eine Stadtplanung, die nicht in erster Linie auf den motorisierten Individualverkehr setzt, sondern die Verkehrsarten des Umweltverbundes fördert ist Voraussetzung für eine gute Luftqualität.
- Verkehrsbauvorhaben benötigen eigentlich fast immer Zeiträume, die über denen von zeitlich eher kurzfristig orientierten Luftreinhalteplänen liegen. Hier gibt es Defizite. Der Ausbau der Königsbrücker Straße, der auch im Sinne der Luftreinhalteplanung wäre, hat sich immer weiter verzögert.
- Für den Radverkehr sind auch ohne größere Umbauvorhaben deutliche Verbesserungen machbar. Oft ist recht einfach Schutzstreifen einzurichten oder auch Radwege auf vorhandenen Straßen einzurichten. Hier wurde viel erreicht. Es ist aber noch viel mehr möglich.
- Es gibt eine positive Entwicklung im Radverkehr, die noch besser unterstützt werden muss. Infrastrukturmaßnahmen müssen da weiter verstärkt werden (Stellplätze, Wegweisung, Signalisierung). Es gibt schon Radwege auf denen es eng wird.
- Bei der ÖPNV-Förderung wurde viel getan. So wurden große Teile des Straßenbahnnetzes für den Einsatz bereiterer Wagen ertüchtigt. Damit ist Vorsorge für künftige Kapazitätsanforderungen getroffen worden. Die Dresdner Verkehrsbetriebe (DVB) beförderten 2016 ca. 156 Millionen Fahrgäste (2010 148 Millionen). Das Betriebsleitsystem wurde erneuert. Seitdem ist es möglich für jede Haltestelle einen Fahrplan in Echtzeit abzurufen. Es wurde begonnen über Anschlüsse in Echtzeit direkt in Bus und Bahn zu informieren. 2016 wurden 20 neue Busse angeschafft, wobei Messungen der DVB zeigen, dass diese Busse im Gegensatz zu vielen PKW die EURO VI-Norm einhalten. 60% der Straßenbahnhaltestellen sind inzwischen barrierefrei. Von alle Haltestellen (Bus und Bahn) sind es 47%.
- Die Elektromobilität konnte dagegen keine Wirkung für die Luftreinhaltung entfalten. Die Zulassungszahlen sind einfach zu gering. Elektrobusse werden zurzeit von deutschen Firmen gar nicht angeboten. Dieses Problem ist auch nicht im Rahmen der Luftreinhalteplanung zu lösen.
- Parkraumbewirtschaftung wurde stark ausgedehnt. Sie ist ein gutes Mittel dem Ansteigen des motorisierten Individualverkehrs entgegenzuwirken. In Zukunft müssen auch die Parkgebühren betrachtet werden. Die Fahrpreise im ÖPNV steigen regelmäßig, die Gebühren für das Autoparken sind jetzt schon seit über 10 Jahren konstant geblieben.
- Für viele Verkehrsbehörde steht nach wie vor die Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs an erster Stelle, wobei Verkehr in diesem Fall Verkehr immer mit Kfz-Verkehr gleichgesetzt wird. Hier sind für eine bessere Stadtplanung noch Lernprozesse notwendig. Auch der Gesetzgeber wäre aufgerufen da seinen Beitrag zu leisten. Geschwindigkeitsbegrenzungen auf Autobahnabschnitten wurden bisher immer abgelehnt. Auf Bundesstraßen im Stadtgebiet war das schwierig aber möglich.
- Schwierig ist auch immer noch eine zeitnahe Datenbeschaffung für Luftschadstoffberechnungen. Das wird oft noch zu wenig thematisiert. Wir können zwar inzwischen ziemlich gut rechnen, aber die Eingangsdaten (Verkehrsmengen, Fahrmuster, HBFEA, sonstiges Emissionen im Stadtgebiet) haben oft ein nicht ausreichendes Niveau. Da sind in Zukunft noch mehr Anstrengungen erforderlich.

Luftreinhalteplanung wäre in Dresden mit Sicherheit nicht mehr notwendig, wenn alle Kraftfahrzeuge über funktionierende Abgasbehandlungssysteme verfügen würden, die nicht nur in den Laboren ordentlich arbeiten. Da das aber nicht so ist, muss auf dem Gebiet der Luftreinhalteplanung weitergearbeitet werden. Größter Erfolg in Dresden ist es dabei, dass die Anforderungen der Luftreinhalteplanung in die langfristige Verkehrsentwicklung eingeflossen sind. Das eröffnet für die Zukunft die Chance, dass Luftreinhalteplanung als „Reparaturplanung“ für städtische Defizite nicht mehr notwendig sein wird.

Anlage 2: Datenqualität 2016

Tabelle 12: Datenverfügbarkeit für Tagesmittelwerte

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | | Städt. Hintergrund | | | Regionaler Hintergrund | | | | |
|-------------------------------------|-------------------|-----|------|------|-----|--------------------|------|-----|------------------------|------|-----|-----|------|
| | DDN | DDB | LMI | LLÜ | LEI | DDW | LWE | LTR | MEL | COL | SWB | RWD | BRO |
| PM ₁₀ | 100% | 97% | 100% | 100% | | 100% | 100% | | 100% | 99% | 98% | 99% | 99% |
| PM _{2,5} | 99% | 99% | 100% | | | 99% | 100% | | 99% | 100% | | | |
| NO ₂ und NO _x | 99% | 99% | 100% | 98% | | 99% | 98% | | | 100% | 99% | 99% | 100% |
| EC ¹⁾ | | | | | | | | | | | | | |
| BC | 99% | | 93% | | 90% | 93% | 87% | 93% | 89% | | | | |
| PN _{30-200nm} | 91% | | 84% | | 90% | 93% | 87% | 93% | 90% | | | | |
| Kfz | | | | | | | | | | | | | |

1) Einsatzzeit MEL tägliche Probenahme, sonst alle 6 Tage

Grau unterlegte Felder = keine Messung

Tabelle 13: Messunsicherheit und Vergleichbarkeit 2016

| Messgröße | Messunsicherheit für Jahresmittelwert | Vergleichbarkeit für Jahresmittelwert | Bemerkungen und Grundlage zur Abschätzung |
|------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
| PM₁₀ | 10 % | 5 %* | HVS-Filtersammlung mit Laborgravimetrie, BfUL Vergleichsmessungen |
| PM_{2,5} | 10 % | 5 %* | HVS-Filtersammlung mit Laborgravimetrie, BfUL Vergleichsmessungen |
| BC | k. A. ¹⁾ | 10 % | Ermittelt aus mehreren Vergleichsmessungen (5 %) am WCCAP, Zuschlag von 5 % für unvollständige Korrektur der verschiedenen Vorabscheider (PM ₁ , PM ₁₀) an verschiedenen Messorten |
| 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); DDN und DDW wöchentliche Funktionskontrolle |
| NO₂ | 10 % | 5 %* | Tägliche Funktionskontrolle, Transferprüfung alle 3 Monate, STIMES-Ringversuche |

* Dies gilt für die Messstationen im sächsischen Luftgütemessnetz (DDN, DDB, LMI, LLÜ, DDW, LWE, COL, SWB, RWD, BRO).

1) kein festgelegtes Referenzmessverfahren vorhanden

Anlage 3: Statistik der Tagesmittelwerte 2016

A 3.1: Gesetzliche Überwachungsgrößen

Tabelle 14: Statistik 2016 für PM₁₀ in µg/m³

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | | Städt. Hintergrund | | | Regionaler Hintergrund | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-----|--------------------|-------------|-----|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Messstation | DDN | DDB | LMI | LLÜ | LEI | DDW | LWE | LTR | MEL | COL | SWB | RWD | BRO |
| Verfügbarkeit | 100% | 97% | 100% | 100% | | 100% | 100% | | 100% | 99% | 98% | 99% | 99% |
| JMW | 21,6 | 23,9 | 23,6 | 27,1 | | 17,1 | 16,9 | | 19,5 | 14,2 | 10,3 | 16,2 | 13,5 |
| Stabw | 11,4 | 12,3 | 12,4 | 14,6 | | 10,9 | 11,7 | | 10,8 | 10,7 | 6,5 | 10,6 | 8,6 |
| Rel.St. | 53% | 51% | 53% | 54% | | 63% | 69% | | 55% | 75% | 64% | 65% | 63% |
| Maximum | 119 | 122 | 125 | 138 | | 110 | 126 | | 114 | 114 | 39 | 115 | 64 |
| 98-Perzentil | 50 | 55 | 53 | 61 | | 42 | 45 | | 43 | 40 | 29 | 40 | 40 |
| 90-Perzentil | 35 | 38 | 37 | 43 | | 30 | 27 | | 29 | 23 | 19 | 28 | 22 |
| 75-Perzentil | 26 | 29 | 28 | 34 | | 22 | 21 | | 23 | 17 | 14 | 20 | 17 |
| 50-Perzentil | 19,0 | 22,0 | 22,0 | 24,0 | | 14,0 | 15,0 | | 18,0 | 12,0 | 9,0 | 14,0 | 12,0 |
| 25-Perzentil | 14 | 16 | 16 | 18 | | 10 | 10 | | 14 | 8 | 5 | 10 | 8 |
| 10-Perzentil | 11 | 12 | 12 | 13 | | 7 | 6 | | 10 | 5 | 3 | 7 | 5 |
| 2-Perzentil | 7 | 8 | 8 | 9 | | 4 | 5 | | 6 | 3 | 2 | 4 | 2 |
| Minimum | 2 | 4 | 4 | 4 | | 2 | 2 | | 4 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| Sommer | 18,6 | 20,8 | 20,5 | 24,4 | | 14,4 | 14,8 | | 18,8 | 12,7 | 10,9 | 14,3 | 13,1 |
| Winter | 24,6 | 26,9 | 26,8 | 29,9 | | 19,9 | 19,0 | | 20,3 | 15,8 | 9,7 | 18,1 | 13,9 |

Hinweis: Die PM₁₀-Daten der Messstation Melpitz (MEL) sind durch die Verwendung von Quarzfaserfiltern methodenbedingt um 2,5 µg/m³ größer als vergleichbare Daten im sächsischen Luftgütemessnetz, wie eine Vergleichsmessung im Jahr 2015 ergab.

Tabelle 15: Anzahl der Tage 2016 mit PM₁₀-Grenzwertüberschreitung

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | | Städt. Hintergrund | | | Regionaler Hintergrund | | | | |
|---------------|-------------------|-----|------|------|-----|--------------------|------|-----|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Messstation | DDN | DDB | LMI | LLÜ | LEI | DDW | LWE | LTR | MEL | COL | SWB | RWD | BRO |
| Verfügbarkeit | 100% | 97% | 100% | 100% | | 100% | 100% | | 100% | 99% | 98% | 99% | 99% |
| Anzahl | 6 | 10 | 10 | 21 | | 2 | 4 | | 5 | 4 | 0 | 3 | 2 |

Tabelle 16: Statistik 2016 für PM_{2,5} in µg/m³

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | | Städt. Hintergrund | | | Regionaler Hintergrund | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------|-------------|-----|-----|--------------------|-------------|-----|------------------------|------------|-----|-----|-----|
| Messstation | DDN | DDB | LMI | LLÜ | LEI | DDW | LWE | LTR | MEL | COL | SWB | RWD | BRO |
| Verfügbarkeit | 99% | 99% | 100% | | | 99% | 100% | | 99% | 100% | | | |
| JMW | 13,3 | 14,2 | 14,6 | | | 12,6 | 11,7 | | 15,3 | 9,7 | | | |
| Stabw | 9,5 | 9,6 | 10,8 | | | 9,8 | 10,5 | | 9,5 | 9,4 | | | |
| Rel.St. | 71% | 68% | 74% | | | 78% | 90% | | 62% | 97% | | | |
| Maximum | 102 | 100 | 112 | | | 102 | 111 | | 94 | 98 | | | |
| 98-Perzentil | 36 | 35 | 39 | | | 36 | 37 | | 40 | 29 | | | |
| 90-Perzentil | 24 | 25 | 25 | | | 25 | 21 | | 24 | 18 | | | |
| 75-Perzentil | 18 | 19 | 18 | | | 17 | 15 | | 19 | 12 | | | |
| 50-Perzentil | 10,9 | 11,8 | 12,0 | | | 9,8 | 9,1 | | 13,7 | 7,7 | | | |
| 25-Perzentil | 7 | 8 | 8 | | | 6 | 5 | | 10 | 4 | | | |
| 10-Perzentil | 5 | 6 | 6 | | | 4 | 4 | | 7 | 3 | | | |
| 2-Perzentil | 3 | 4 | 4 | | | 3 | 2 | | 5 | 1 | | | |
| Minimum | 2 | 2 | 2 | | | 2 | 1 | | 3 | 1 | | | |
| Sommer | 10,5 | 11,5 | 11,5 | | | 9,6 | 8,8 | | 13,8 | 7,6 | | | |
| Winter | 16,2 | 16,9 | 17,7 | | | 15,8 | 14,6 | | 16,9 | 11,9 | | | |

Hinweis: Die PM_{2,5}-Daten der Messstation Melpitz (MEL) sind durch die Verwendung von Quarzfaserfiltern methodenbedingt um 2,5 µg/m³ größer als vergleichbare Daten im sächsischen Luftgütemessnetz, wie eine Vergleichsmessung im Jahr 2015 ergab.

Tabelle 17: Statistik 2016 für NO₂ in µg/m³

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | | Städt. Hintergrund | | | Regionaler Hintergrund | | | | |
|---------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-----|--------------------|-------------|-----|------------------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Messstation | DDN | DDB | LMI | LLÜ | LEI | DDW | LWE | LTR | MEL | COL | SWB | RWD | BRO |
| Verfügbarkeit | 99% | 99% | 100% | 98% | | 99% | 98% | | 98% | 100% | 99% | 99% | 100% |
| JMW | 31,3 | 44,9 | 41,7 | 42,0 | | 18,5 | 16,7 | | 8,8 | 9,3 | 7,4 | 13,2 | 10,4 |
| Stabw | 9,3 | 12,8 | 11,3 | 13,4 | | 8,8 | 8,1 | | 5,4 | 5,9 | 4,5 | 7,6 | 5,7 |
| Rel.St. | 30% | 28% | 27% | 32% | | 47% | 49% | | 62% | 63% | 61% | 58% | 54% |
| Maximum | 57 | 85 | 76 | 96 | | 49 | 50 | | 33 | 36 | 35 | 42 | 36 |
| 98-Perzentil | 53 | 71 | 67 | 71 | | 41 | 40 | | 25 | 27 | 20 | 33 | 26 |
| 90-Perzentil | 44 | 63 | 56 | 59 | | 31 | 28 | | 15 | 18 | 13 | 25 | 18 |
| 75-Perzentil | 37 | 53 | 49 | 50 | | 24 | 20 | | 11 | 11 | 9 | 17 | 12 |
| 50-Perzentil | 30,8 | 44,3 | 41,3 | 41,0 | | 16,7 | 14,3 | | 7,3 | 7,4 | 6,1 | 10,7 | 8,9 |
| 25-Perzentil | 24 | 37 | 34 | 33 | | 12 | 11 | | 5 | 5 | 4 | 8 | 7 |
| 10-Perzentil | 20 | 28 | 27 | 27 | | 9 | 9 | | 4 | 4 | 3 | 6 | 5 |
| 2-Perzentil | 15 | 20 | 19 | 17 | | 5 | 6 | | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| Minimum | 12 | 15 | 14 | 10 | | 3 | 5 | | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| Sommer | 28,0 | 44,0 | 39,8 | 42,4 | | 15,1 | 13,3 | | 6,0 | 6,6 | 5,9 | 9,6 | 7,9 |
| Winter | 34,7 | 45,8 | 43,5 | 41,5 | | 22,0 | 20,1 | | 11,4 | 12,1 | 8,9 | 16,8 | 13,1 |

Tabelle 18: Statistik 2016 für NO_x in µg/m³

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | | Städt. Hintergrund | | | Regionaler Hintergrund | | | | |
|---------------------|-------------------|--------------|--------------|-------------|-----|--------------------|-------------|-----|------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| Messstation | DDN | DDB | LMI | LLÜ | LEI | DDW | LWE | LTR | MEL | COL | SWB | RWD | BRO |
| Verfügbarkeit | 99% | 99% | 100% | 98% | | 99% | 98% | | 98% | 100% | 99% | 99% | 100% |
| JMW | 62,3 | 138,5 | 117,6 | 99,2 | | 25,9 | 22,3 | | 10,9 | 11,2 | 9,3 | 16,3 | 13,2 |
| Stabw | 28,9 | 58,0 | 49,0 | 46,9 | | 18,5 | 14,7 | | 7,0 | 6,5 | 5,6 | 10,3 | 7,1 |
| Rel.St. | 46% | 42% | 42% | 47% | | 71% | 66% | | 64% | 58% | 60% | 63% | 54% |
| Maximum | 208 | 362 | 321 | 294 | | 131 | 108 | | 51 | 48 | 48 | 65 | 52 |
| 98-Perzentil | 131 | 284 | 245 | 207 | | 85 | 69 | | 32 | 29 | 25 | 46 | 34 |
| 90-Perzentil | 101 | 214 | 176 | 158 | | 49 | 39 | | 19 | 21 | 15 | 31 | 23 |
| 75-Perzentil | 76 | 170 | 145 | 124 | | 32 | 26 | | 13 | 13 | 10 | 20 | 15 |
| 50-Perzentil | 56,3 | 134,3 | 112,0 | 92,9 | | 19,8 | 17,4 | | 8,7 | 9,0 | 7,7 | 12,8 | 11,1 |
| 25-Perzentil | 42 | 97 | 85 | 65 | | 14 | 13 | | 6 | 7 | 6 | 9 | 8 |
| 10-Perzentil | 32 | 69 | 58 | 46 | | 11 | 11 | | 5 | 6 | 5 | 7 | 7 |
| 2-Perzentil | 23 | 39 | 37 | 26 | | 7 | 8 | | 3 | 5 | 4 | 5 | 6 |
| Minimum | 15 | 33 | 20 | 15 | | 4 | 6 | | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| Sommer | 50,4 | 124,0 | 102,6 | 93,7 | | 19,1 | 16,7 | | 7,7 | 8,3 | 7,5 | 11,8 | 10,2 |
| Winter | 74,4 | 152,9 | 132,8 | 104,5 | | 32,6 | 27,9 | | 13,9 | 14,1 | 11,1 | 20,8 | 16,2 |

A 3.2: Ergänzende wissenschaftliche Sondermessungen

Tabelle 19: Statistik 2016 für Ruß BC_{PM1} in µg/m³

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | | Städt. Hintergrund | | | Regionaler Hintergrund | | | | |
|---------------------|-------------------|-----|-------------|-----|-------------|--------------------|-------------|-------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Messstation | DDN | DDB | LMI* | LLÜ | LEI | DDW | LWE* | LTR* | MEL* | COL | SWB | RWD | BRO |
| Verfügbarkeit | 99% | | 93% | | 82% | 100% | 83% | 95% | 96% | | | | |
| JMW | 1,22 | | 1,70 | | 1,48 | 0,81 | 0,78 | 0,82 | 0,57 | | | | |
| Stabw | 0,50 | | 0,87 | | 1,00 | 0,64 | 0,84 | 0,87 | 0,77 | | | | |
| Rel.St. | 41% | | 51% | | 68% | 79% | 107% | 106% | 134% | | | | |
| Maximum | 3,3 | | 8,6 | | 10,4 | 7,3 | 9,3 | 9,3 | 8,2 | | | | |
| 98-Perzentil | 2,9 | | 3,5 | | 3,7 | 2,3 | 2,6 | 3,0 | 2,2 | | | | |
| 90-Perzentil | 1,8 | | 2,6 | | 2,3 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,1 | | | | |
| 75-Perzentil | 1,4 | | 2,0 | | 1,8 | 1,1 | 1,0 | 1,0 | 0,7 | | | | |
| 50-Perzentil | 1,16 | | 1,54 | | 1,35 | 0,65 | 0,57 | 0,59 | 0,37 | | | | |
| 25-Perzentil | 0,9 | | 1,2 | | 0,9 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | | | | |
| 10-Perzentil | 0,7 | | 0,9 | | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,2 | | | | |
| 2-Perzentil | 0,5 | | 0,6 | | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | | | | |
| Minimum | 0,3 | | 0,3 | | 0,2 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | | | | |
| Sommer | 1,19 | | 1,68 | | 1,43 | 0,62 | 0,62 | 0,63 | 0,39 | | | | |
| Winter | 1,24 | | 1,72 | | 1,56 | 0,99 | 0,94 | 1,00 | 0,76 | | | | |

* Im PM10 gemessene Werte wurden nachträglich auf PM1 umgerechnet

Tabelle 20: Statistik 2016 für die Partikelanzahl PN_{30-200nm} in 1/cm³

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | | Städt. Hintergrund | | | Regionaler Hintergrund | | | | |
|---------------------|-------------------|-----|--------------|-----|--------------|--------------------|--------------|--------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Messstation | DDN | DDB | LMI | LLÜ | LEI | DDW | LWE | LTR | MEL | COL | SWB | RWD | BRO |
| Verfügbarkeit | 91% | | 84% | | 90% | 93% | 87% | 93% | 90% | | | | |
| JMW | 4.634 | | 4.830 | | 5.176 | 3.351 | 3.389 | 3.086 | 2.828 | | | | |
| Stabw | 1.733 | | 1.828 | | 2.041 | 1.650 | 1.805 | 1.483 | 1.404 | | | | |
| Rel.St. | 37% | | 38% | | 39% | 49% | 53% | 48% | 50% | | | | |
| Maximum | 11.903 | | 11.539 | | 12.021 | 9.377 | 11.537 | 9.179 | 7.793 | | | | |
| 98-Perzentil | 8.537 | | 9.151 | | 10.098 | 7.594 | 8.091 | 6.750 | 6.387 | | | | |
| 90-Perzentil | 6.930 | | 7.171 | | 7.906 | 5.432 | 5.741 | 5.013 | 4.629 | | | | |
| 75-Perzentil | 5.557 | | 5.858 | | 6.415 | 4.302 | 4.223 | 3.779 | 3.536 | | | | |
| 50-Perzentil | 4.467 | | 4.579 | | 4.977 | 3.099 | 3.118 | 2.857 | 2.618 | | | | |
| 25-Perzentil | 3.402 | | 3.476 | | 3.636 | 2.183 | 2.176 | 2.029 | 1.837 | | | | |
| 10-Perzentil | 2.649 | | 2.828 | | 2.902 | 1.424 | 1.424 | 1.441 | 1.259 | | | | |
| 2-Perzentil | 1.655 | | 1.835 | | 1.667 | 829 | 799 | 831 | 703 | | | | |
| Minimum | 1.218 | | 1.116 | | 983 | 413 | 528 | 549 | 403 | | | | |
| Sommer | 5.086 | | 5.047 | | 5.744 | 3.647 | 3.767 | 3.504 | 3.410 | | | | |
| Winter | 4.184 | | 4.637 | | 4.633 | 3.028 | 3.095 | 2.708 | 2.330 | | | | |

Tabelle 21: Statistik 2016 für die Masse ultrafeiner und feiner Partikel PM_{30-200nm} in µg/m³

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | | Städt. Hintergrund | | | Regionaler Hintergrund | | | | |
|---------------------|-------------------|-----|-------------|-----|-------------|--------------------|-------------|-------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Messstation | DDN | DDB | LMI | LLÜ | LEI | DDW | LWE | LTR | MEL | COL | SWB | RWD | BRO |
| Verfügbarkeit | 94% | | 89% | | 93% | 95% | 90% | 96% | 91% | | | | |
| JMW | 3,19 | | 3,11 | | 3,48 | 2,53 | 2,33 | 2,21 | 2,17 | | | | |
| Stabw | 1,33 | | 1,32 | | 1,53 | 1,35 | 1,34 | 1,21 | 1,24 | | | | |
| Rel.St. | 42% | | 43% | | 44% | 53% | 58% | 55% | 57% | | | | |
| Maximum | 8,6 | | 9,5 | | 10,8 | 7,6 | 10,5 | 8,5 | 6,9 | | | | |
| 98-Perzentil | 6,2 | | 6,2 | | 7,1 | 5,9 | 5,6 | 5,5 | 5,6 | | | | |
| 90-Perzentil | 4,9 | | 4,8 | | 5,4 | 4,4 | 4,0 | 3,7 | 3,8 | | | | |
| 75-Perzentil | 3,8 | | 3,8 | | 4,5 | 3,2 | 3,0 | 2,8 | 2,8 | | | | |
| 50-Perzentil | 3,08 | | 2,91 | | 3,39 | 2,35 | 2,11 | 2,06 | 1,92 | | | | |
| 25-Perzentil | 2,3 | | 2,2 | | 2,3 | 1,5 | 1,3 | 1,3 | 1,2 | | | | |
| 10-Perzentil | 1,7 | | 1,6 | | 1,7 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | | | | |
| 2-Perzentil | 1,1 | | 1,1 | | 1,1 | 0,6 | 0,5 | 0,5 | 0,4 | | | | |
| Minimum | 0,6 | | 0,7 | | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | | | | |
| Sommer | 3,28 | | 3,24 | | 3,70 | 2,55 | 2,41 | 2,36 | 2,42 | | | | |
| Winter | 3,10 | | 2,99 | | 3,26 | 2,50 | 2,26 | 2,08 | 1,96 | | | | |

A 3.3: Kfz-Zählergebnisse der Stadtverwaltungen

Die Zählergebnisse wurden jeweils von den Stadtverwaltungen Dresden und Leipzig erhoben und geprüft. Die Ergebnisse der Einstundenwerte wurden als externe Daten in die sächsische Luftgütedatenbank eingelesen. Bei der Auswertung in der Luftgütedatenbank wurde nur eine Tagessumme gebildet, wenn 100 % der Einstundenwerte des Tages vorlagen.

Tabelle 22: Statistik 2016 für die Anzahl aller Kraftfahrzeuge (Kfz) pro Tag von Montag bis Sonntag

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | |
|---------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|-----|
| Messstation | DDN | DDB | LMI | LLÜ | LEI |
| Verfügbarkeit | | 98% | 96% | 96% | |
| JMW | | 26.462 | 43.276 | 21.393 | |
| Stabw | | 5.521 | 8.167 | 3.346 | |
| Rel.St. | | 21% | 19% | 16% | |
| Maximum | | 36.566 | 57.193 | 25.328 | |
| 98-Perzentil | | 33.417 | 55.371 | 24.970 | |
| 90-Perzentil | | 31.903 | 52.274 | 24.284 | |
| 75-Perzentil | | 30.417 | 48.877 | 23.616 | |
| 50-Perzentil | | 28.477 | 45.496 | 22.861 | |
| 25-Perzentil | | 22.696 | 38.623 | 20.267 | |
| 10-Perzentil | | 16.943 | 30.221 | 15.381 | |
| 2-Perzentil | | 14.602 | 25.684 | 13.094 | |
| Minimum | | 13.083 | 18.317 | 10.404 | |
| Sommer | | 26.555 | 42.991 | 21.617 | |
| Winter | | 26.367 | 43.552 | 21.163 | |

Tabelle 23: Statistik 2016 für die Anzahl der Schwerverkehrsfahrzeuge (SV) pro Tag von Montag bis Sonntag

| Stationstyp | Städtische Straße | | | | |
|---------------------|-------------------|--------------|--------------|------------|-----|
| Messstation | DDN | DDB | LMI | LLÜ | LEI |
| Verfügbarkeit | | 98% | 96% | 96% | |
| JMW | | 1.009 | 1.203 | 674 | |
| Stabw | | 366 | 479 | 333 | |
| Rel.St. | | 36% | 40% | 49% | |
| Maximum | | 1.445 | 2.335 | 1.537 | |
| 98-Perzentil | | 1.396 | 1.735 | 1.412 | |
| 90-Perzentil | | 1.344 | 1.627 | 939 | |
| 75-Perzentil | | 1.298 | 1.569 | 888 | |
| 50-Perzentil | | 1.191 | 1.435 | 807 | |
| 25-Perzentil | | 579 | 779 | 320 | |
| 10-Perzentil | | 421 | 414 | 141 | |
| 2-Perzentil | | 371 | 260 | 95 | |
| Minimum | | 337 | 119 | 52 | |
| Sommer | | 1.044 | 1.304 | 735 | |
| Winter | | 974 | 1.105 | 611 | |

Anlage 4: Mittlerer Tagesgang der Woche der Messgrößen von 2010 bis 2016

A 4.1: Verkehrsnahe Messstationen

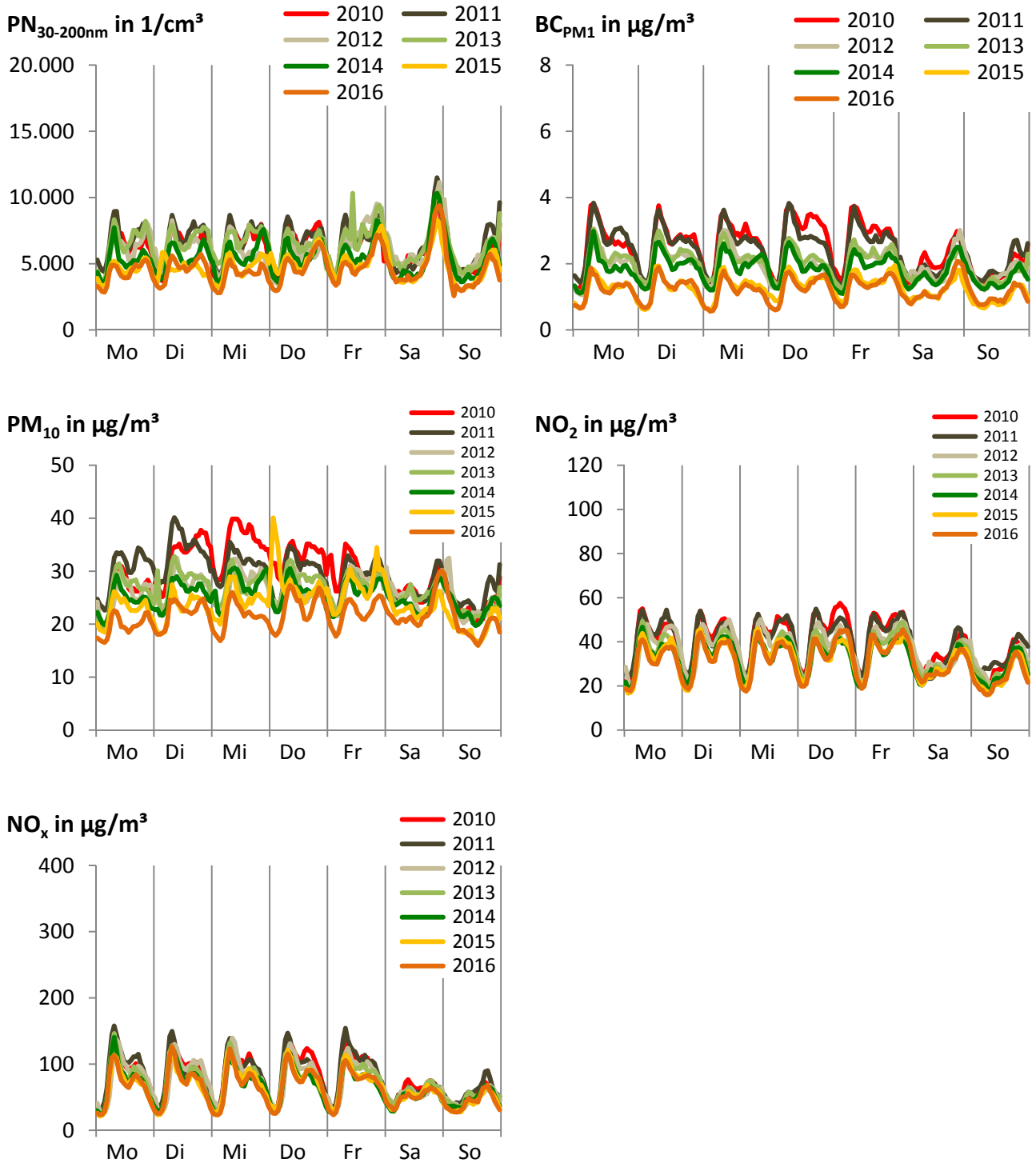


Abbildung 20: Mittlerer Tagesgang der Woche an der verkehrsnahen Messstation Dresden-Nord (DDN) für PN_{30-200nm}, Ruß-BC_{PM1}, PM₁₀ und NO₂ und NO_x von 2010 bis 2016

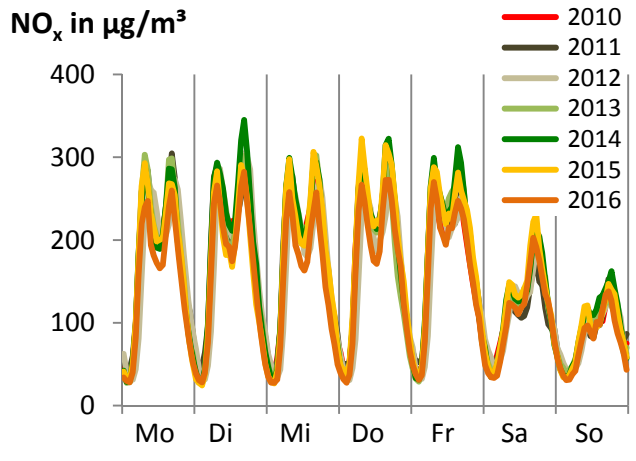
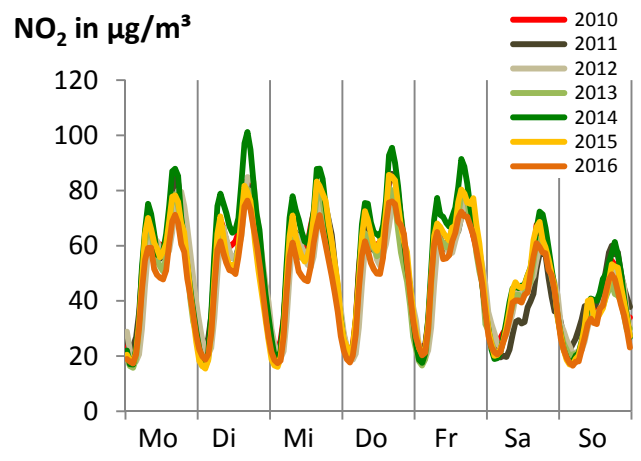
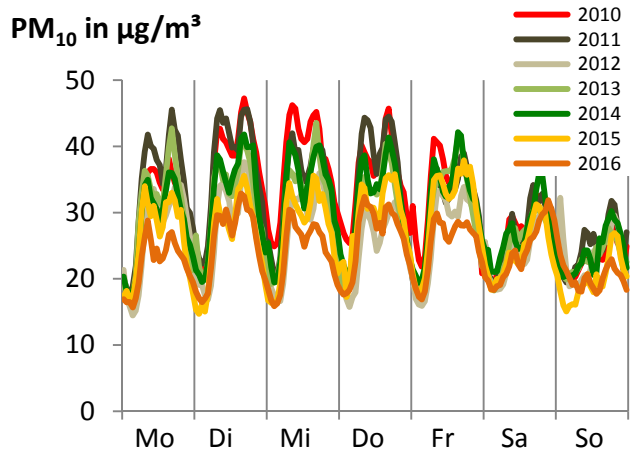
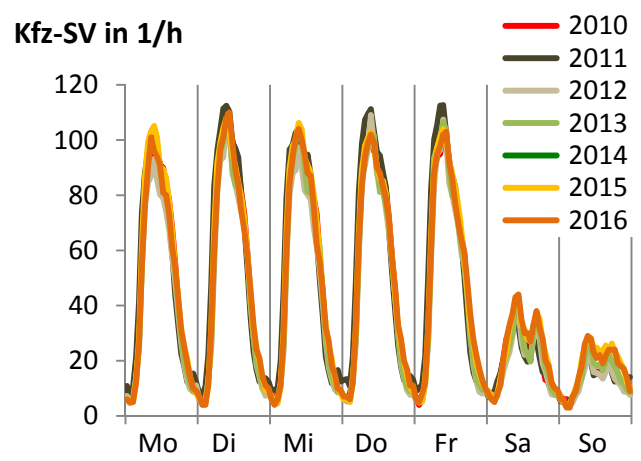
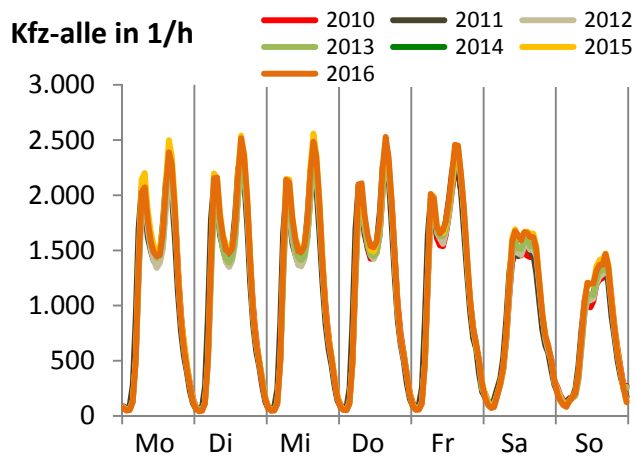


Abbildung 21: Mittlerer Tagesgang der Woche an der verkehrsnahen Messstation Dresden-Bergstraße (DDB) für Kfz-Zählwerte, PM₁₀, NO₂ und NO_x von 2010 bis 2016

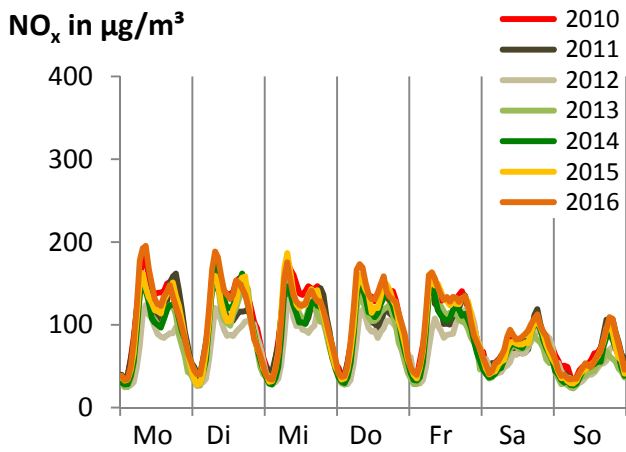
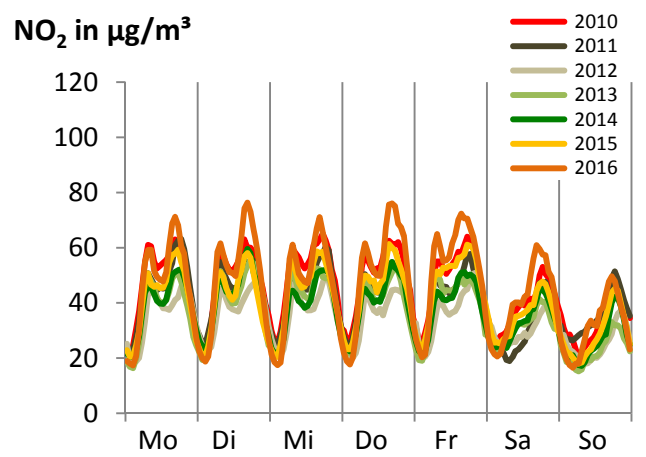
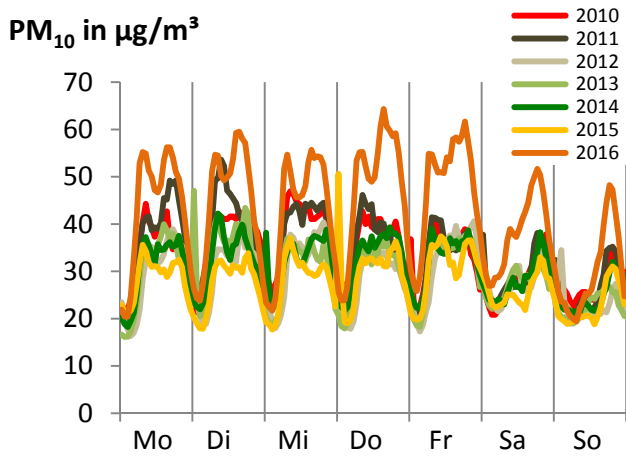
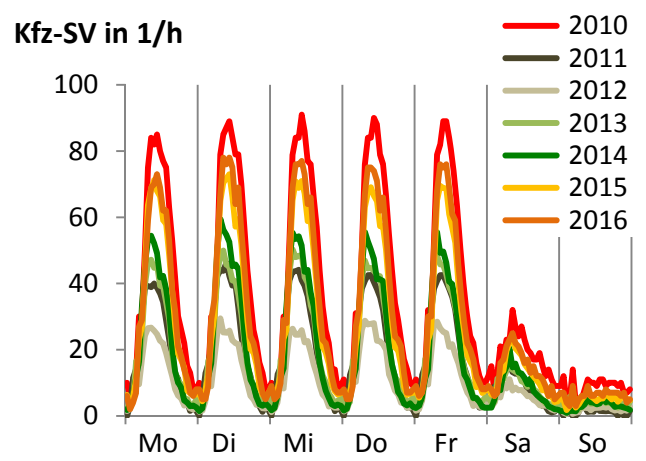
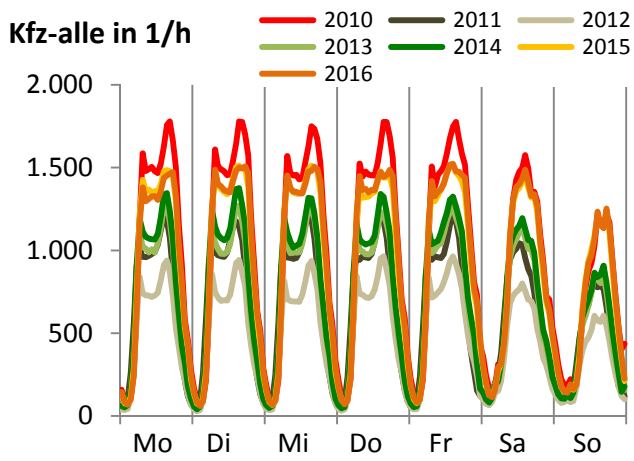
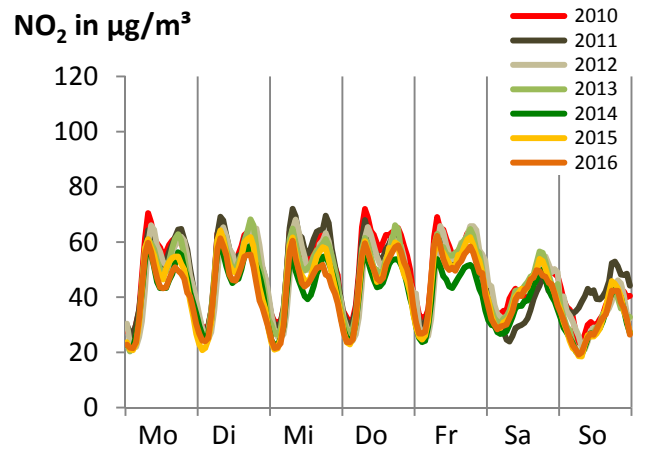
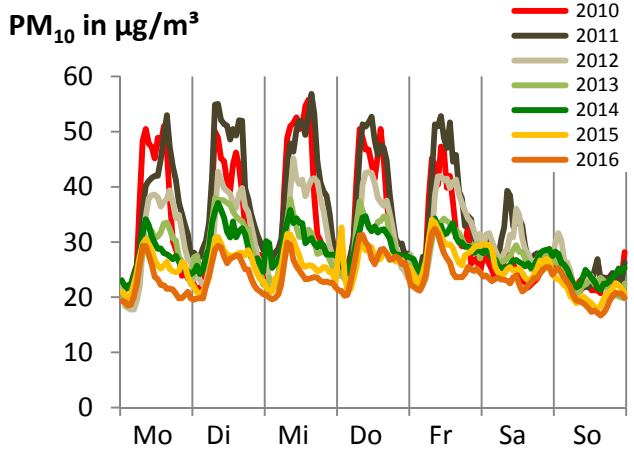
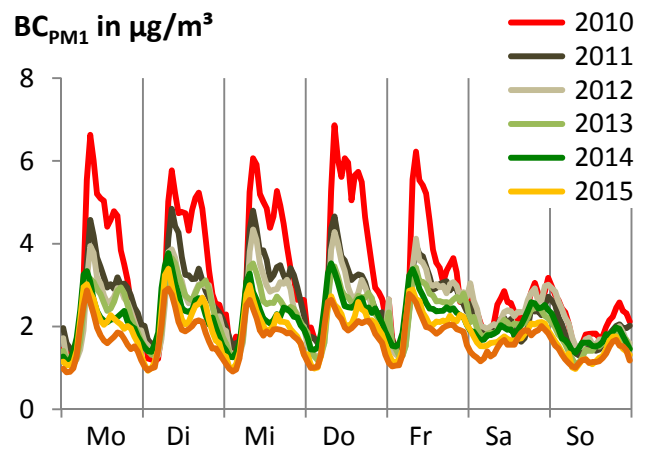
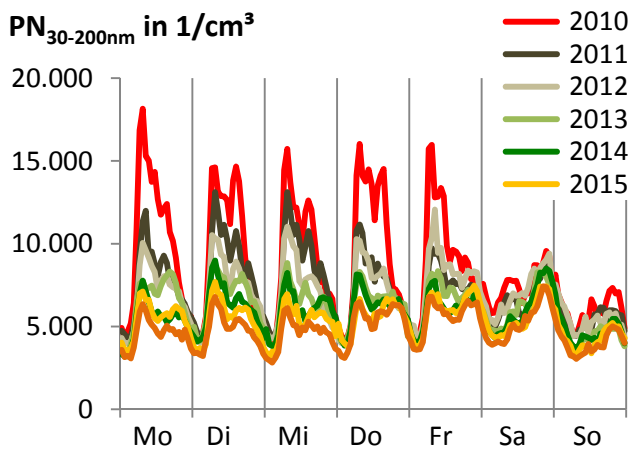
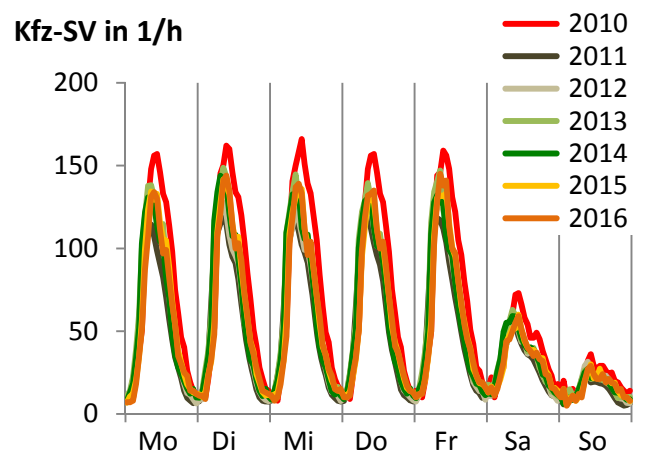
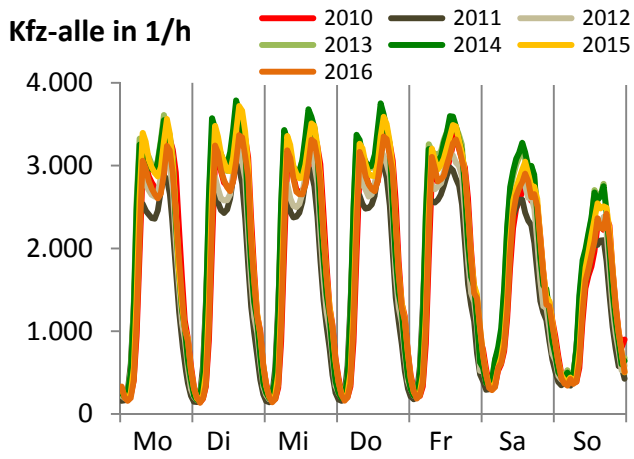


Abbildung 22: Mittlerer Tagesgang der Woche an der verkehrsnahen Messstation Leipzig-Lützner Straße (LLÜ) für Kfz-Zählwerte, PM₁₀, NO₂ und NO_x von 2010 bis 2016



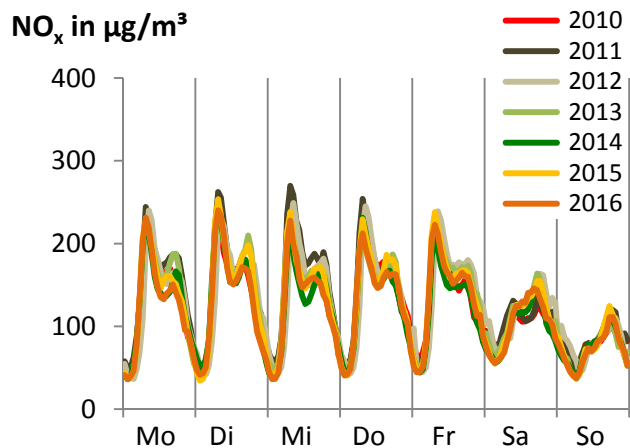


Abbildung 23: Mittlerer Tagesgang der Woche an der verkehrsnahen Messstation Leipzig-Mitte (LMI) für Kfz-Zählwerte, $PN_{30-200nm}$, Ruß- BC_{PM1} , PM_{10} , NO_2 und NO_x von 2010 bis 2016

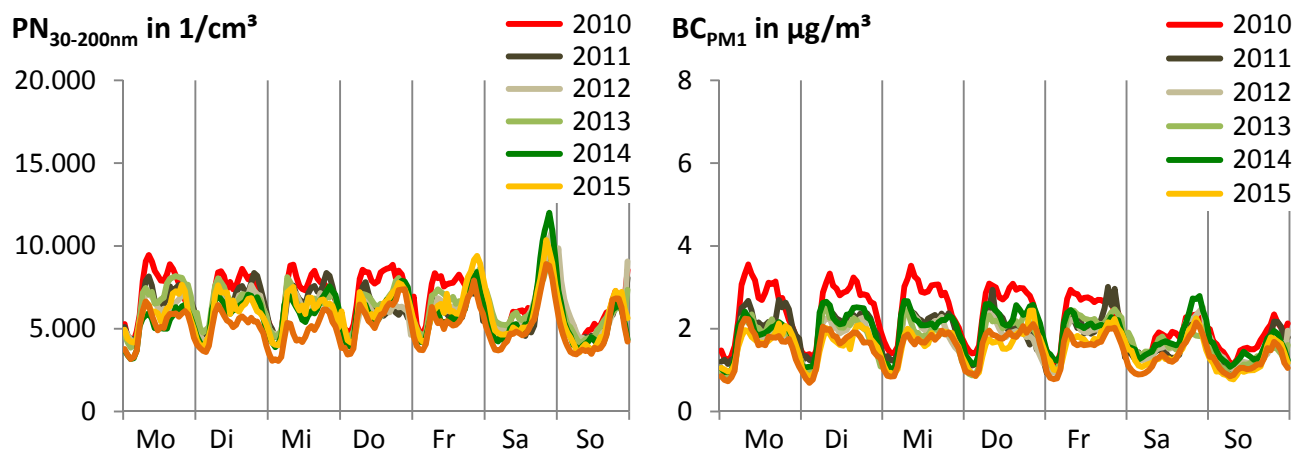


Abbildung 24: Mittlerer Tagesgang der Woche an der verkehrsnahen Messstation Leipzig-Eisenbahnstraße (LEI) für $PN_{30-200nm}$ und Ruß- BC_{PM1} von 2010 bis 2016

A 4.2: Messstationen im städtischen Hintergrund

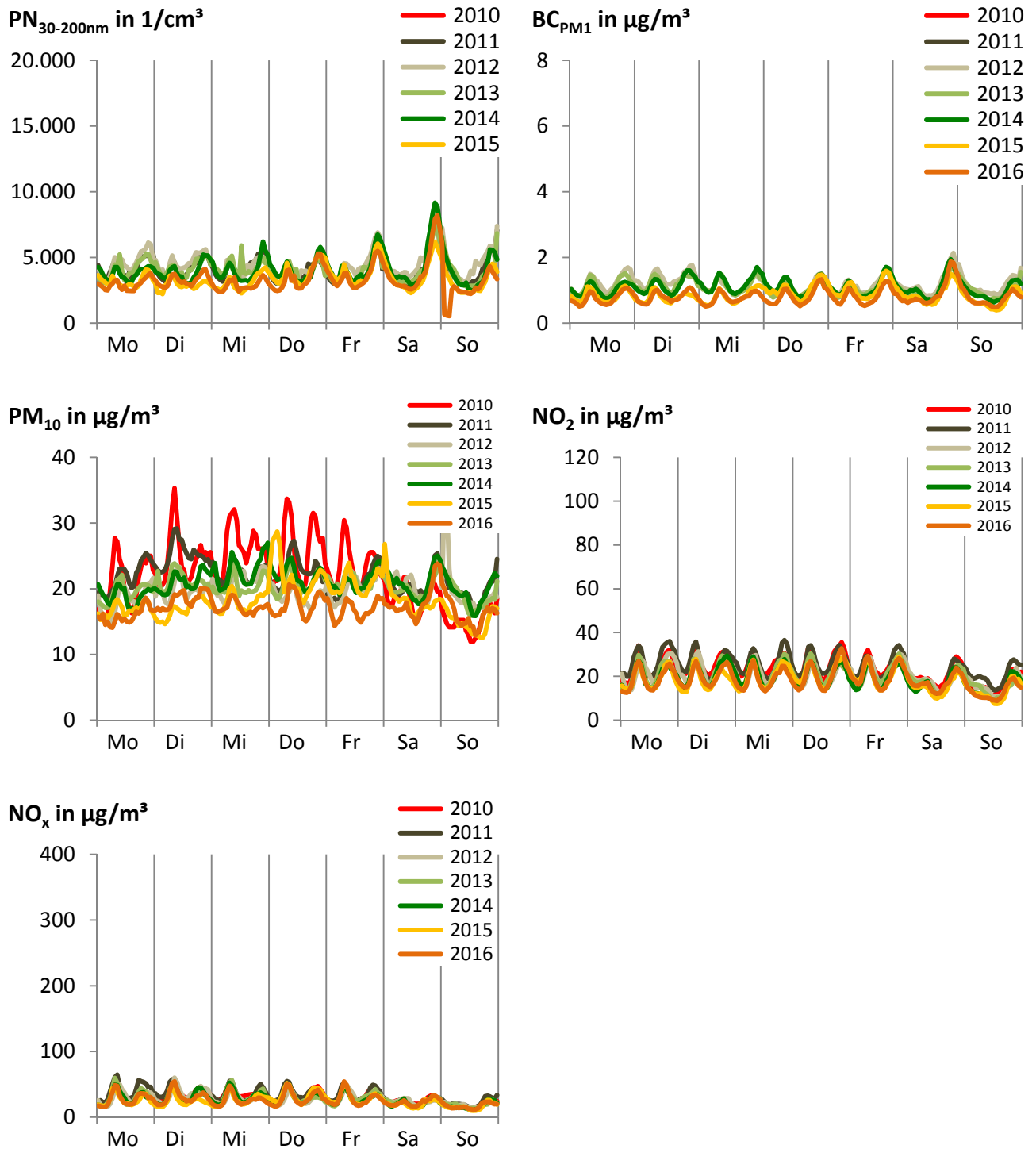


Abbildung 25: Mittlerer Tagesgang der Woche an der städtischen Hintergrund-Messstation Dresden-Winckelmannstraße (DDW) für $\text{PN}_{30-200\text{nm}}$, Ruß- BC_{PM1} , PM_{10} , NO_2 und NO_x von 2010 bis 2016

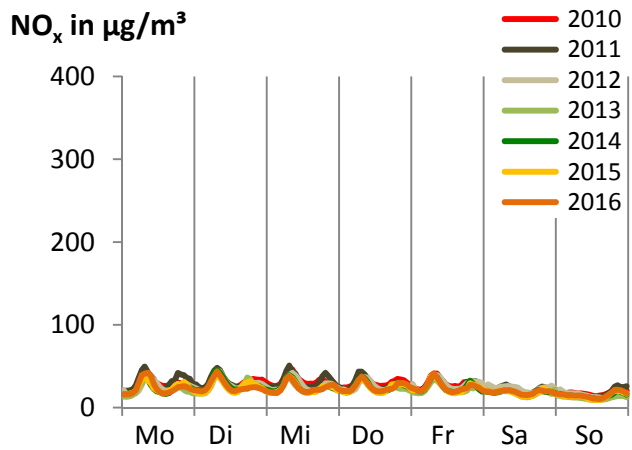
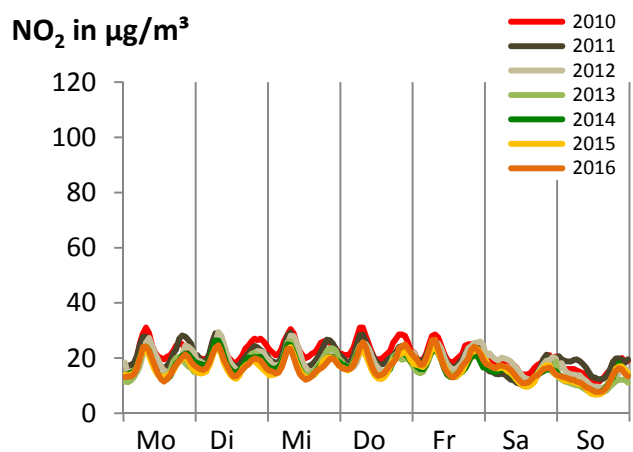
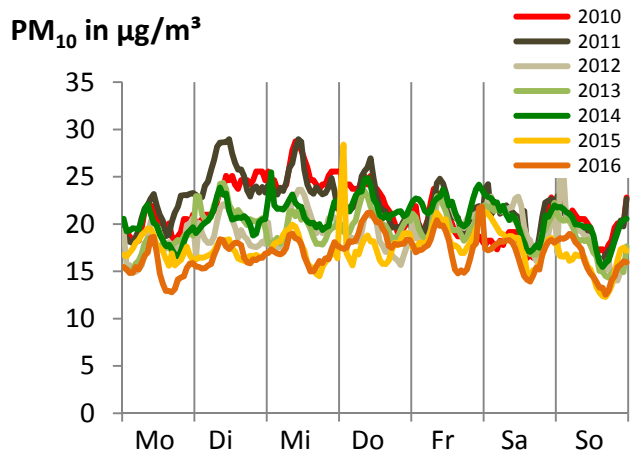
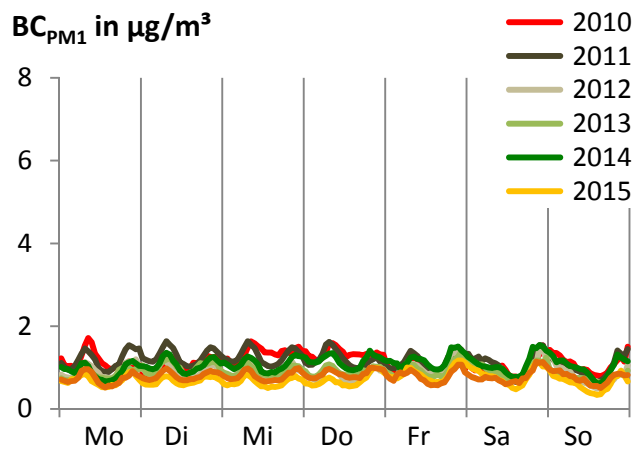
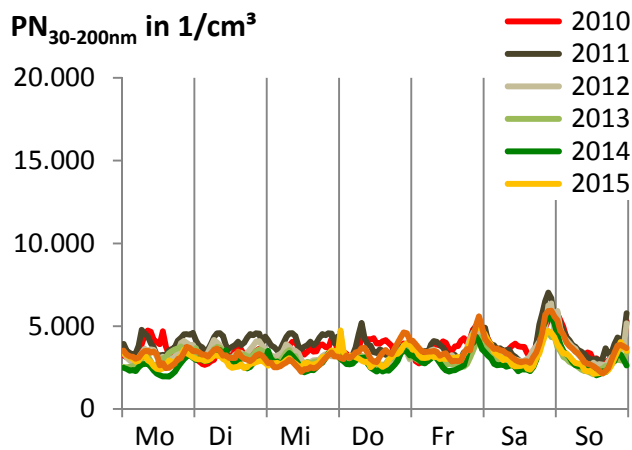


Abbildung 26: Mittlerer Tagesgang der Woche an der städtischen Hintergrund-Messstation LeipzigWest (LWE) für PN_{30-200nm}, Ruß-BC_{PM1}, PM₁₀, NO₂ und NO_x von 2010 bis 2016

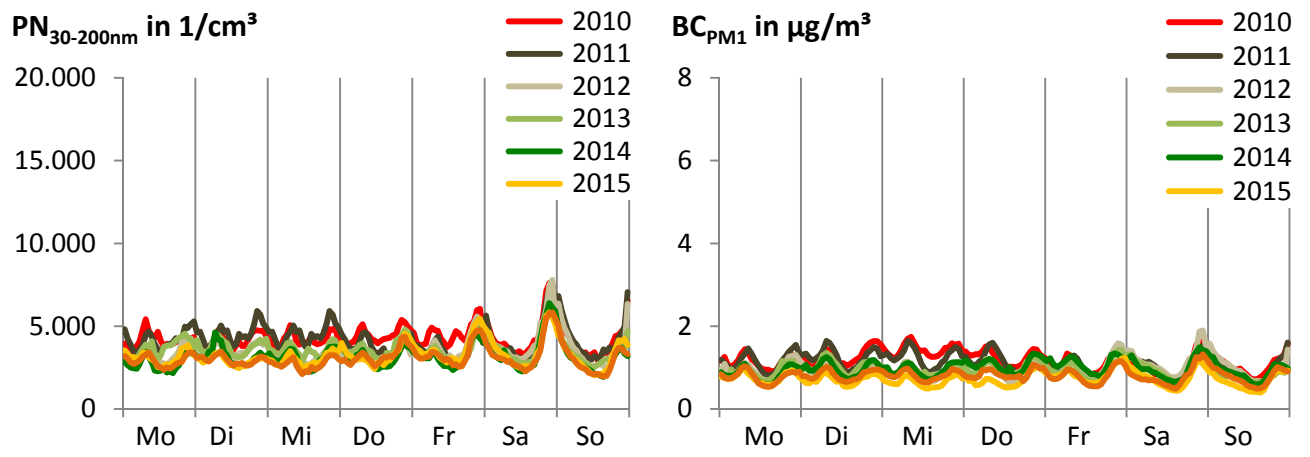


Abbildung 27: Mittlerer Tagesgang der Woche an der städtischen Hintergrund-Messstation Leipzig-TROPOS (LTR) für PN_{30-200nm} und Ruß-BC_{PM1} von 2010 bis 2016

A 4.3: Messstationen im regionalen Hintergrund

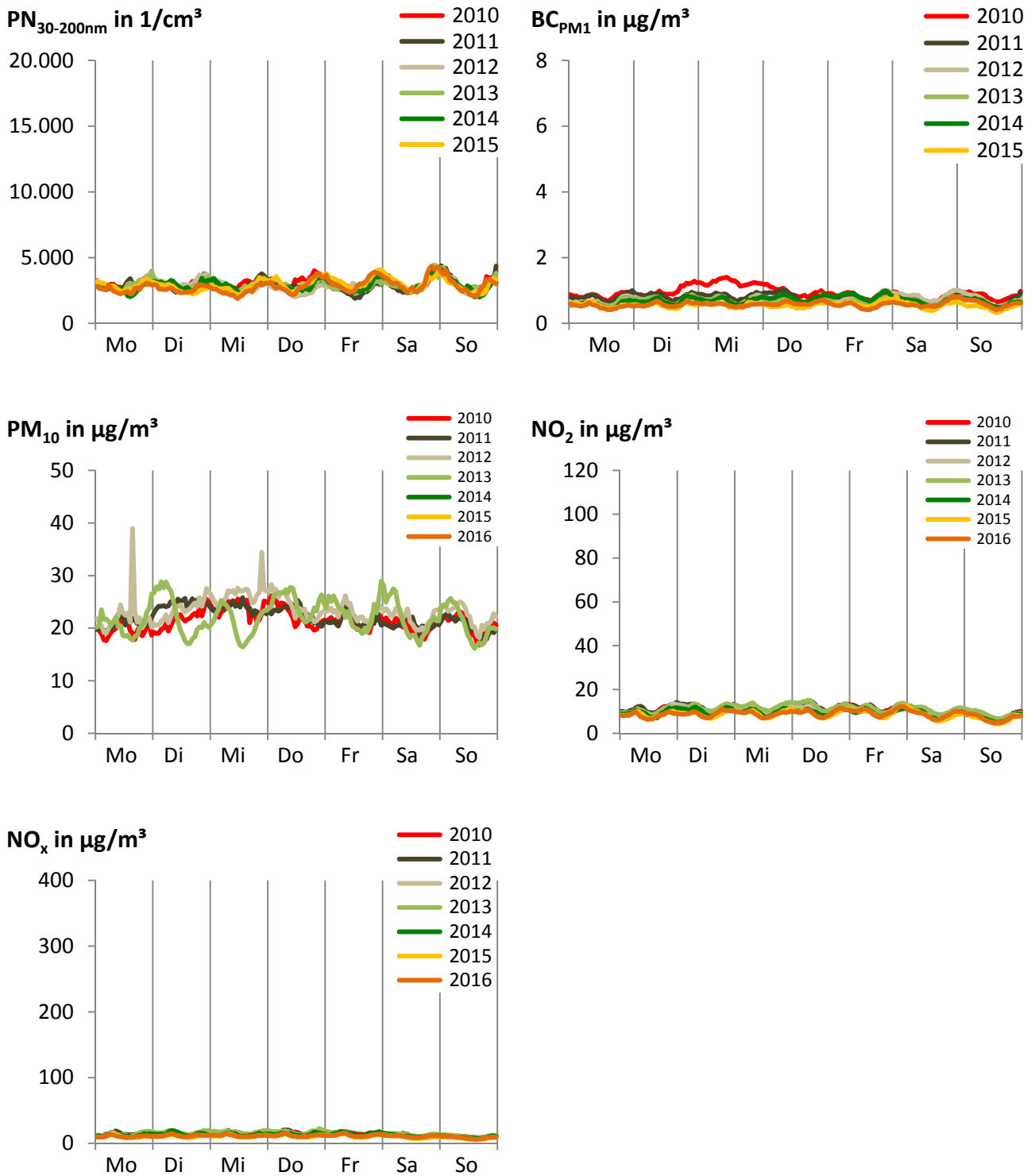


Abbildung 28: Mittlerer Tagesgang der Woche an der regionalen Hintergrund-Messstation Melpitz (MEL) für PN_{30-200nm}, Ruß-BC_{PM1}, PM₁₀, NO₂ und NO_x von 2010 bis 2016

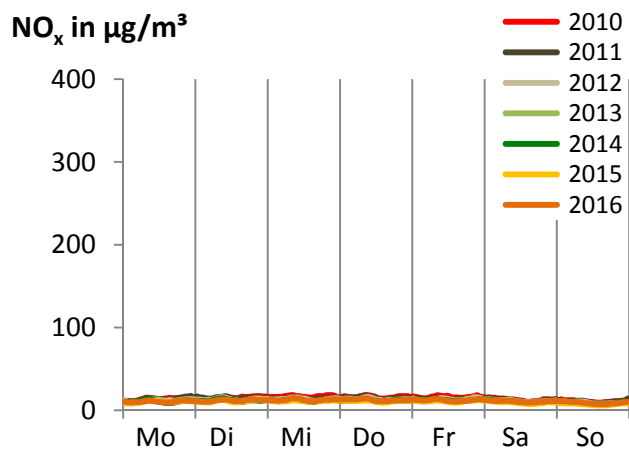
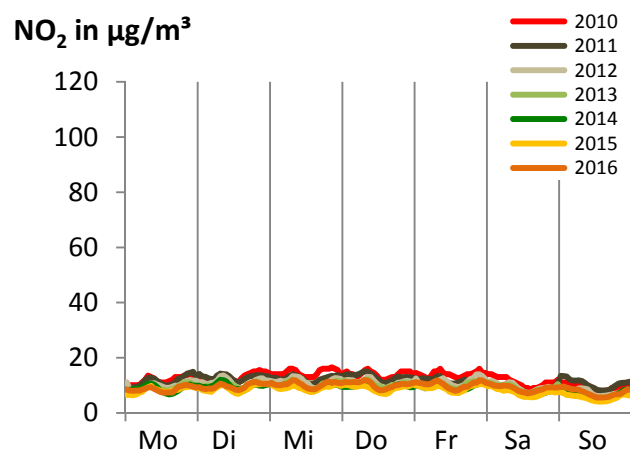
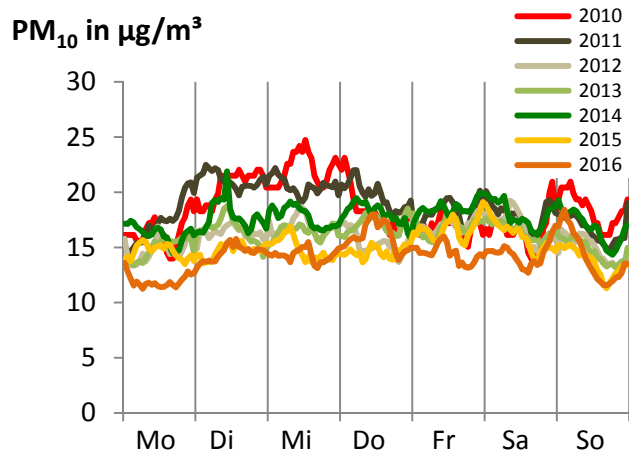


Abbildung 29: Mittlerer Tagesgang der Woche an der regionalen Hintergrund-Messtation Collmberg (COL) für PM₁₀, NO₂ und NO_x von 2010 bis 2016

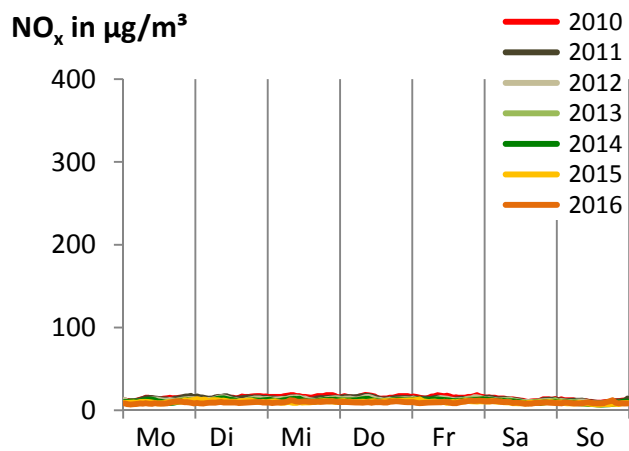
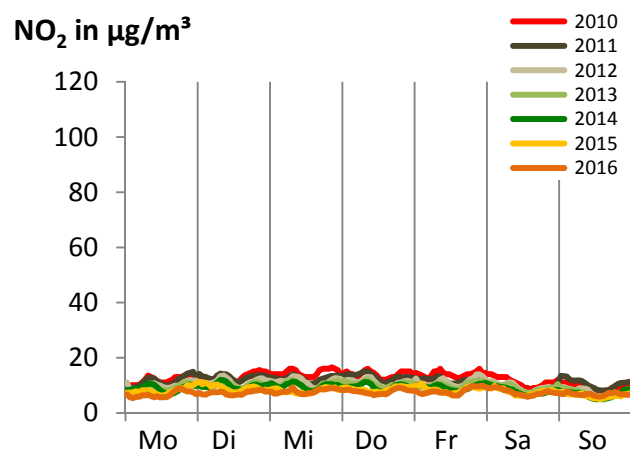
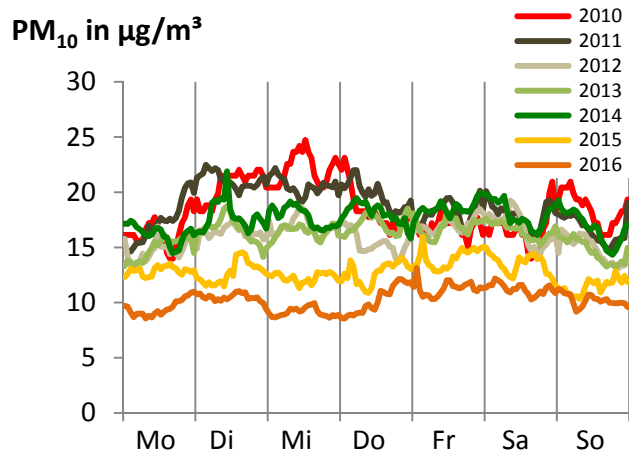


Abbildung 30: Mittlerer Tagesgang der Woche an der regionalen Hintergrund-Messtation Schwartenberg (SWB) für PM₁₀, NO₂ und NO_x von 2010 bis 2016

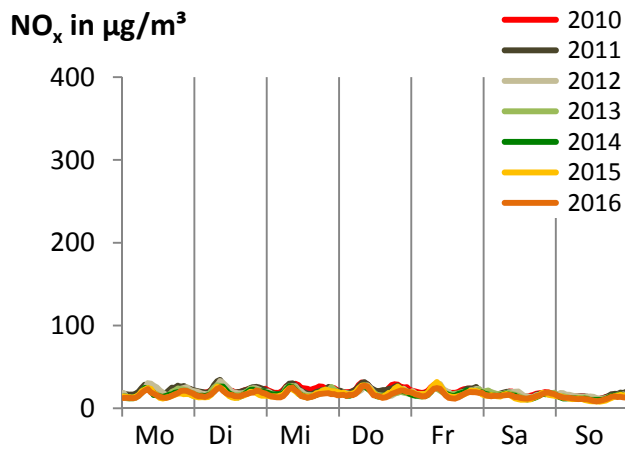
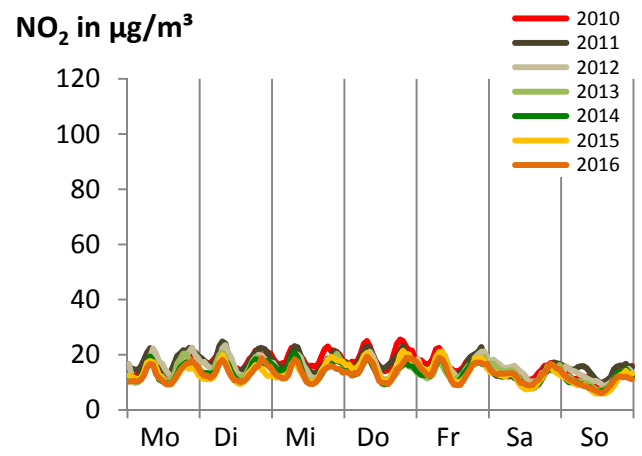
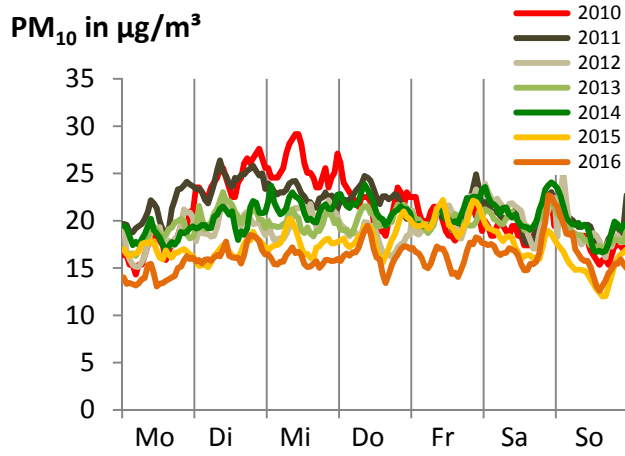


Abbildung 31: Mittlerer Tagesgang der Woche an der regionalen Hintergrund-Messtation Radebeul-Wahnsdorf (RWD) für PM₁₀, NO₂ und NO_x von 2010 bis 2016

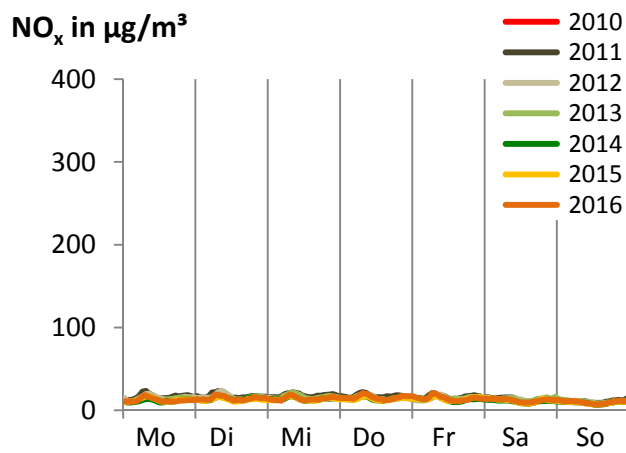
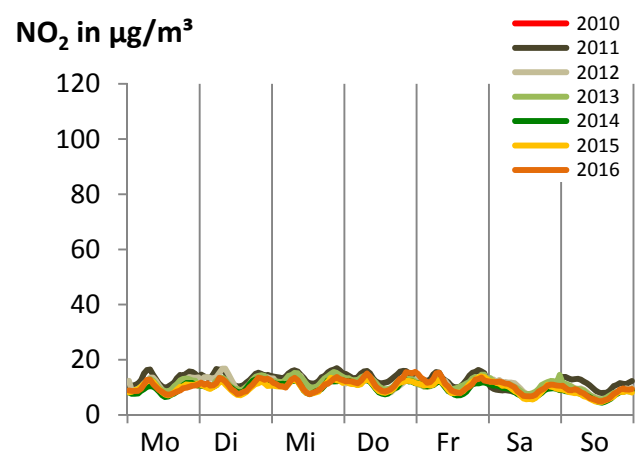
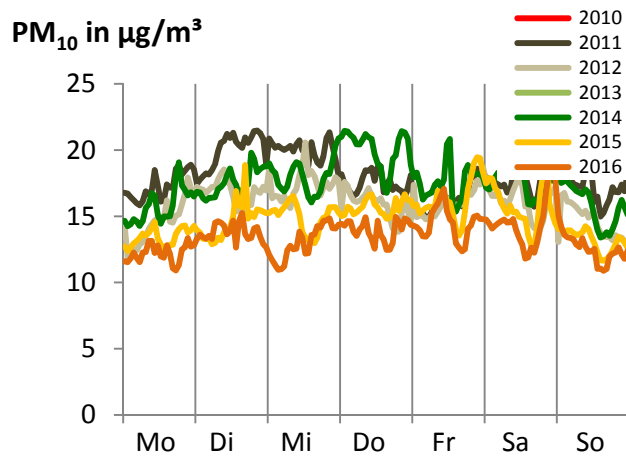


Abbildung 32: Mittlerer Tagesgang der Woche an der regionalen Hintergrund-Messtation Brockau (BRO) für PM₁₀, NO₂ und NO_x von 2010 bis 2016

Anlage 5: Annahmen zur Berechnung des Immissionsanteils Motor

Der Immissionsanteil Kfz-Verkehr setzt sich für Partikel aus motorbedingtem und nicht motorbedingtem Immissionsanteil zusammen. Der Immissionsanteil Motor wird durch die Motoremissionen der vorbeifahrenden Fahrzeuge verursacht. Der nicht motorbedingte Immissionsanteil stammt von den nicht motorbedingten Kfz-Emissionen, wie Abrieb von Reifen, Fahrbahnbelag und Bremsen, sowie Aufwirbelung von Bodenstaub (Abbildung 4).

Zur Berechnung des Immissionsanteils Motor wurden folgende Annahmen getroffen:

- Der Lenschow-Ansatz gilt (additive Immissionsanteile für lange Mittelungszeiträume).
- Der Mittelungszeitraum beträgt ein Kalenderjahr.
- Der Anteil für den nicht motorbedingten Immissionsanteil (Aufwirbelungen, Abriebe) ist klein gegenüber dem motorbedingten Immissionsanteil. Dies trifft für PM_{10} nicht zu und deshalb wurde für PM_{10} kein Immissionsanteil Motor ausgewiesen.
- Das angenommene Verhältnis von motorbedingtem und nicht motorbedingtem Immissionsanteil für einzelne Messgrößen ist in Tabelle 24 aufgelistet.
- Wenn die Kfz-Zahlen nahezu konstant bleiben, dann ist auch der nicht motorbedingte Immissionsanteil (Aufwirbelungen, Abriebe) nahezu konstant.
- Mit den Messdaten vom Jahr 2010 (Ausgangsbeurteilung) wurde der nicht motorbedingte Immissionsanteil (Aufwirbelungen, Abriebe) abgeschätzt.
- Für die Folgejahre wurde der nicht motorbedingte Immissionsanteil (Aufwirbelungen, Abriebe) als konstant angesetzt.

Tabelle 24: Annahmen für die Aufteilung des Immissionsanteils Verkehr an den verkehrsnahen Messstellen für die Ausgangsbeurteilung 2010

| Messgröße | Nicht-Motor | Motor |
|--|-------------|-------|
| EC_{PM10} | 10 % | 90 % |
| BC_{PM1} | 5 % | 95 % |
| $PN_{30-200nm}$ * | | |
| $PM_{30-200nm}$ | 10 % | 90 % |
| Zum Vergleich: PM_{10} | 75 % | 25 % |

* Ein Fachartikel legt nahe, dass Abriebe und Aufwirbelungen auch bei sehr kleinen Partikeln vorhanden sind und eine Bestimmung der Motoremissionen nur über die Partikelgröße zu einer Überschätzung des Motoremissionsanteiles führt [WEINBRUCH 2014]. Bei elektronenmikroskopischen Untersuchungen von Impaktorproben wurden bei 100 nm etwa $\frac{1}{4}$ der Partikelanzahl aus Nicht-Motoremissionen und nur $\frac{3}{4}$ der Partikelanzahl aus Motoremissionen als verkehrsnaher Immission in einer Probenahmehöhe von 1,5 m gefunden. Vermischte Rußanteile führten dabei eher zu einer Überschätzung von Ruß [EBERT 2014]. Deshalb wurde an den verkehrsnahen Messstationen in Dresden und Leipzig mit einer Probenahmehöhe von 4 m für das Jahr 2010 ein Verhältnis von 10 % zu 90 % für Nicht-Motoremissionen zu Motoremissionen angenommen.

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

Autor:

Dr. Gunter Löschau, Dr. Andrea Hausmann, Uwe Wolf, Werner Sommer
Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
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. (TROPOS)
Mario Anhalt
Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz
Uwe Böhme
Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL)
Stadt Leipzig, Amt für Umweltschutz
Volker Dietz
Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt
Dr. Horst-Günter Kath, Holm Kühne
Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL)

Redaktion:

Dr. Gunter Löschau
LfULG, Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen/Referat Klima, Luftqualität
Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden
Telefon: +49 351 2612-5102
Telefax: +49 351 2612-5099
E-Mail: gunter.loeschau@smul.sachsen.de

Fotos:

keine

Redaktionsschluss:

30.10.2017

ISSN:

XXXXXX (Wird von ÖA LfULG vergeben)

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> 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 zeitli-