

**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

Mohrenstraße 14, D-01445 Radebeul

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

E-Mail: info.dd@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

**AUSWERTUNG DER MESSUNGEN
DES BLUME WÄHREND DER
ABSPÜLMASSNAHME AM ABSCHNITT
FRANKFURTER ALLEE 86**

Auftraggeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung
Brückenstraße 6
10173 Berlin

Dr. rer. nat. I. Düring
L. Zippack

Dr.-Ing. W. Bächlin
Dr.-Ing. A. Lohmeyer

Dezember 2004
Projekt 70095-04-10
Berichtsumfang 42 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUFGABENSTELLUNG	3
2	AUSGANGSDATEN.....	4
	2.1 Untersuchungsbereich.....	4
	2.2 Straßenspülungen	5
	2.3 Verkehrszählungen	8
	2.4 Immissionsdaten	9
	2.5 Meteorologische Daten.....	10
3	DATENAUSWERTUNGEN DES SPÜLZEITRAUMES	12
	3.1 Verkehrsstärken	12
	3.2 Tagesmittelwerte der PM10-Gesamt- und Zusatzbelastungen.....	13
	3.3 Einfluss der Spülungen auf die PM10-Konzentrationen	18
	3.4 Einfluss der Spülungen auf die PM10-Emissionen	25
4	AUSWERTUNG EINER TROCKENPERIODE	28
5	STATISTISCHE KENNGRÖSSEN FÜR DEN AUSWERTEZEITRAUM	33
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN DATENAUSWERTUNGEN.....	36
7	ZUSAMMENFASSUNG	38
8	LITERATUR	42

Hinweise:

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

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

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

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

Emission / Immission

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

Vorbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung

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

Grenzwerte / Vorsorgewerte

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

Jahresmittelwert / 98-Perzentilwert / Kurzzeitwert (Äquivalentwert)

An den betrachteten Untersuchungspunkten unterliegen die Konzentrationen der Luftschadstoffe in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen etc. ständigen Schwankungen. Die Immissionskenngößen Jahresmittelwert, 98-Perzentilwert und weitere Kurzzeitwerte charakterisieren diese Konzentrationen. Der Jahresmittelwert stellt den über das Jahr gemittelten Konzentrationswert dar. Eine Einschränkung hinsichtlich Beurteilung der Luftqualität mit Hilfe des Jahresmittelwertes besteht darin, dass er nichts über Zeiträume mit hohen Konzentrationen aussagt. Eine das ganze Jahr über konstante Konzentration kann zum gleichen Jahresmittelwert führen wie eine zum Beispiel tagsüber

sehr hohe und nachts sehr niedrige Konzentration. Der Gesetzgeber hat deshalb zusätzlich zum Jahresmittelwert z. B. den so genannten 98-Perzentilwert der Konzentrationen eingeführt. Das ist derjenige Konzentrationswert, der in 98 % der Zeit des Jahres unterschritten wird.

Die Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22. BImSchV) fordert weitere Kurzzeitwerte in Form des Stundenmittelwertes der NO₂ Konzentrationen von 200 µg/m³, der in nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf und des Tagesmittelwertes der PM10-Konzentration von 50 µg/m³, der maximal an 35 Tagen überschritten werden darf. Da diese Werte derzeit nicht direkt berechnet werden können, erfolgt die Beurteilung hilfsweise anhand von abgeleiteten Äquivalentwerten auf Basis der 98- Perzentil- bzw. Jahresmittelwerte. Diese Äquivalentwerte sind aus Messungen abgeleitete Kennwerte, bei deren Unterschreitung auch eine Unterschreitung der Kurzzeitwerte erwartet wird.

Verkehrssituation

Emissionen und Kraftstoffverbrauch hängen in hohem Maße vom Fahrverhalten der Kfz ab, die sich in unterschiedlichen Betriebszuständen wie Leerlauf im Stand, Beschleunigung, Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsverzögerung etc. befinden. Das typische Fahrverhalten der Kfz kann zu so genannten Verkehrssituationen zusammengefasst werden. Diese wurden vom Umweltbundesamt definiert und es wurden dafür die Emissionen gegeben. Verkehrssituationen sind durch die Merkmale eines Straßenabschnitts wie Geschwindigkeitsbeschränkung, Ausbaugrad, Vorfahrtregelung etc. charakterisiert.

PM10

PM10 sind Partikel, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.

1 AUFGABENSTELLUNG

Ab 2005 müssen in Berlin strenge Grenzwerte der Feinstaubbelastung in der Luft eingehalten werden. Die Feinstaubbelastungen in manchen Straßenschluchten sind dafür allerdings zu hoch. Aus verschiedenen Forschungsprojekten ist bekannt, dass die Aufwirbelung von Straßenstaub, Reifen-, Brems- und Straßenabrieb durch den Straßenverkehr einen bedeutenden Anteil an der gemessenen Feinstaubbelastung ausmacht. Diese Situation ergibt sich auch an der Frankfurter Allee.

Die Senatsverwaltung für Stadtentwicklung untersucht deshalb, ob die Feinstaubbelastung in Straßenschluchten von Berlin durch regelmäßiges Abspülen der Fahrbahnoberfläche zu verringern ist.

Zwischen Mai und Oktober 2004 wurde deshalb die Fahrbahn der Frankfurter Allee zwischen Proskauer Straße und Möllendorfstraße durch die Berliner Stadtreinigung mit einem Kübelfahrzeug regelmäßig abgespült. Ziel der vorliegend beschriebenen Datenauswertungen ist der Nachweis des Einflusses dieser Maßnahme auf die PM10-Konzentrationen in der Straßenschlucht Frankfurter Allee.

Für die Datenauswertung wurde der Zeitraum zwischen dem 10.05. und 11.10.2004 betrachtet.

2 AUSGANGSDATEN

2.1 Untersuchungsbereich

Die von der Senatsverwaltung organisierten Straßenspülungen fanden in der Frankfurter Allee zwischen Möllendorfstraße und Proskauer Straße statt. Die in Ost-West-Richtung verlaufende Frankfurter Allee ist als Straße mit je drei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung und einem durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommen von etwa 40 000 bis 70 000 Kfz/d eine der wichtigsten Verkehrsverbindungen im Ostteil Berlins. Die **Abb. 2.1** vermittelt einen fotografischen Eindruck dieser Straße im Bereich des BLUME-Messcontainers.



Abb. 2.1: Blick in die Frankfurter Allee in Richtung West. Im mittleren Teil des Bildes ist der BLUME-Messcontainer zu sehen.

Zwischen dem Fußgängerweg und der Fahrbahn befinden sich in regelmäßigen Abständen Parkbuchten. Die Randbebauung besteht aus Wohn- und Geschäftshäusern von etwa 22 m Höhe und einem Abstand der gegenüberliegenden Häuserblocks von ca. 42 m. Der Fahr-

bahnbelag der Straße besteht aus Asphalt, ebenso der Fußweg. Die Parkbuchten sind mit Betonsteinen gepflastert. Zwischen den Parkbuchten sind Bäume gepflanzt. Zwischen den Fahrtrichtungsfahrbahnen befindet sich ein begrünter Mittelstreifen .

2.2 Straßenspülungen

Der Senat Berlin beauftragte die Berliner Stadtreinigung über einen Gesamtzeitraum von 22 Wochen (10.05. bis 10.10.04) mit den Spülungen. Ein Spülfahrzeug bei der Spülung wird in der **Abb. 2.2** gezeigt.



Abb. 2.2: Spülfahrzeug der Berliner Stadtreinigung bei der Straßenspülung

Das Spülfahrzeug sollte dabei das Wasser in Richtung des rechten Fahrbahnrandes spritzen und zusätzlich die Fahrbahn beregnen. Die Vorgabe war, dass nach der Spülung an beiden Seiten der Fahrbahn jeweils die gesamte Fahrbahn mit den drei Fahrstreifen vollständig nass ist. Insbesondere 250 m vor und nach dem Messcontainer sollte besonders langsam gefahren werden, um eine intensive Nässung der Fahrbahn zu gewährleisten. Die vor Ort durchgeführten Beobachtungen am 12.05.04 und 18.08.04 bestätigten dieses Vorgehen (siehe z. B. **Abb. 2.3**).



Abb. 2.3: Gespülter linker im Vergleich zu trockenen Fahrstreifen (rechtes Bild) sowie komplett gespülter Straßenabschnitt (linkes Bild) am 12.05.04

Die Straßenspülungen in den geraden Kalenderwochen wurden montags, mittwochs und freitags, jeweils morgens zwischen 5.30 und 6.00 Uhr und nachmittags zwischen 14.00 und 14.30 Uhr, durchgeführt. In den ungeraden Kalenderwochen wurde dienstags und donnerstags jeweils ebenfalls zweimal und samstags einmal (zwischen 10.00 Uhr und 11.00 Uhr) gespült. In der 30. bis 35. Kalenderwoche (19.07. bis 29.08.) wurde zusätzlich an den für die Fahrbahnen vorgesehenen Terminen der Rasen des Mittelstreifens zwischen den Fahrbahnen bewässert. Bei regennasser Fahrbahn zum Termin der vorgesehenen Spülung konnte die Spülung zu diesem Termin ausfallen. Die entsprechenden Termine der durchgeführten Straßenspülungen sind z. B. der **Abb. 3.2** zu entnehmen. Insgesamt wurde an 65 der 161 Tage im Auswertzeitraum die Straße gespült.

Visuelle Einschätzungen der Situationen vor während und nach den Straßenspülungen zeigten, dass durch die Spülung ein deutlicher Wasser- und teilweise auch Materialfluss in Richtung Rinnstein und von dort zum nächstliegenden Gully stattfand (siehe **Abb. 2.4**). Dieser Transport hielt allerdings nur kurzzeitig (wenige Minuten) an. Die Straße selbst blieb nach der Spülung noch ca. eine bis drei Stunden (je nach Temperatur, Sonneneinstrahlung und Verkehrsdichte) feucht (siehe z. B. **Abb. 2.5**).



Abb. 2.4: Gully auf der Frankfurter Allee kurz nach einer Spülung am 12.05.2004



Abb. 2.5: Frankfurter Allee am 18.08.2004 ca. 2 Stunden nach der Spülung

2.3 Verkehrszählungen

Die Verkehrsstärken auf der Frankfurter Allee wurden in Höhe des Messcontainers separat für alle 6 Fahrstreifen durch Detektoren der Verkehrsmanagementzentrale (VMZ) Berlin mbH erfasst und durch den Auftraggeber als xml-files (für jeden Tag, getrennt nach Fahrstreifen) zur Verfügung gestellt. Die zeitliche Auflösung der Daten betrug in den verkehrssamen Nachtzeiten ein Wert pro Stunde, sonst in der Regel 1 Wert pro 5 Minuten. Angegeben sind die Anzahl der Kfz, die Anzahl der PKW sowie die Anzahl der LKW (als Fahrzeuge mit Längen größer 7.5 m) sowie die Fahrzeuggeschwindigkeiten. Die xml-files wurden mittels eines

im Rahmen des vorliegenden Projektes erstellten DELPHI-Programmes zusammen geführt und als ½-Stundenwerte aufbereitet, damit sie konsistent zur zeitlichen Auflösung der Immissionsdaten sind.

Vor Ort gemessene Verkehrszahlen lagen erst ab 25.05.04 vor. Auffälligkeiten in den Rohdaten (z. B. Zuordnungsfehler in den Datenspalten zwischen den 25.05. und 31.07.04 (LKW- und PKW-Spalten vertauscht) wurden korrigiert bzw. Messdatenausfälle (17.06., 20.06., 24.06., 25.06., 29.06., 30.06., 06.07., 21.07., 15.09. und 16.09.04) wurden lokalisiert und anhand der Mittelwerte folgender und davor liegender gleichartiger Tage kompensiert. Nicht korrigiert wurden Datenausfälle über mehrere Tage, wie der 15./16.08 sowie 21. bis 24.09.04. Diese Tage wurden bei der Berechnung der Emissionsfaktoren (s. u.) nicht mitbetrachtet.

In einer Untersuchung der Fa. Kommunal Data (Juni 2004) wurden automatische Zählraten der VMZ manuellen Zählraten gegenübergestellt und Korrekturfaktoren differenziert nach Straßenkategorien, PKW und LKW bzw. werktags und Wochenende abgeleitet. Mit diesen Korrekturfaktoren wurden die VMZ-Daten multipliziert.

Die Korrekturfaktoren lauten für Werktags:

$$\text{PKW}_{\text{ges}} = 1.05 * \text{PKW}_{\text{VMZ}} \text{ sowie } \text{LKW}_{\text{ges}} = 0.7 * \text{LKW}_{\text{VMZ}}$$

Die Korrekturfaktoren lauten für das Wochenende:

$$\text{PKW}_{\text{ges}} = 1.02 * \text{PKW}_{\text{VMZ}} \text{ sowie } \text{LKW}_{\text{ges}} = 1.4 * \text{LKW}_{\text{VMZ}}$$

2.4 Immissionsdaten

Vom Auftraggeber wurden die Luftschadstoffkonzentrationen von NO_x und PM10 des BLUME-Messnetzes zur Verfügung gestellt. Für die Auswertung werden explizit die Werte folgender Stationen ausgewertet:

Frankfurter Allee MC174 (Straßenschlucht mit Straßenspülungen), Schildhornstraße MC117 (Straßenschlucht ohne Straßenspülung), Messbus an Karl-Marx-Allee MB088, (Hauptverkehrsstraße mit einseitig dichter Bebauung in Verlängerung der Frankfurter Allee ohne Straßenspülung) und Nansenstraße MC42 (städtische Hintergrundstation). Zusätzlich wurden Daten der Stationen Grunewald, Marienfelde, Buch und Frohnau windrichtungsabhängig zur Bestimmung der regionalen Hintergrundbelastung entsprechend dem Vorgehen in IVU

(2003) analysiert. Ausgewertet wurden die kontinuierliche NO_x und PM10-Konzentrationen (½-Stundenmittelwerte). Zusätzlich wurden temporäre PM10-Messungen (Tagesmittelwert) an der Bänischstraße in die Analysen einbezogen.

2.5 Meteorologische Daten

Neben den o. g. Spülterminen waren die Tage zu selektieren, an den es geregnet hatte. Entsprechend des Hinweises des Auftraggebers wurden die Angaben zum Regen von der Station Berlin/Tempelhof verwendet, welche aus dem Internet (www.cpc.ncep.noaa.gov/products/global_monitoring/precipitation/neeur_90prec.html) heruntergeladen wurden. Beispielhaft sind diese Angaben für den Zeitraum zwischen dem 1.6. und 30.8.2004 in der **Abb. 2.6** dargestellt. Die Tage mit Regen im Auswertzeitraum sind z. B. auch in der **Abb. 3.2** markiert.

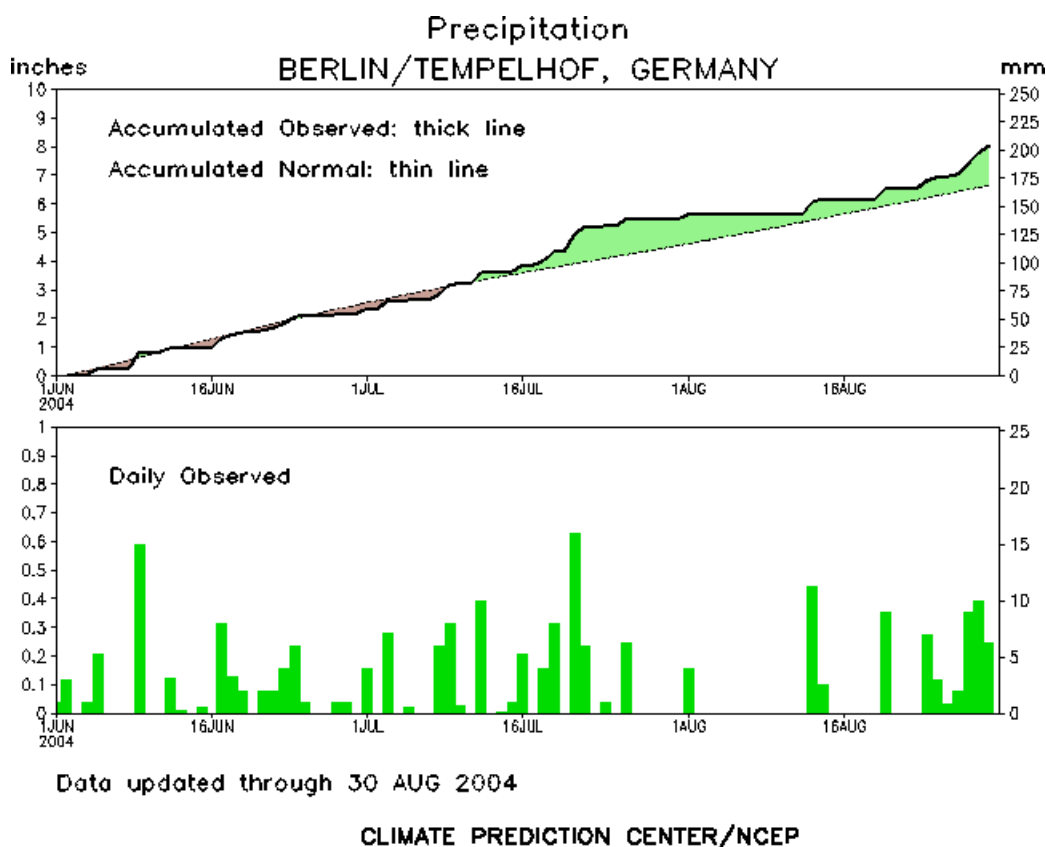


Abb. 2.6: Tage mit Regen und tägliche Niederschlagssummen für Berlin Tempelhof im Zeitraum 01.06. und 30.08.04

Im Auswertzeitraum zwischen 10.05. und 11.10.04 hat es an der Station Tempelhof an 63 der 161 Tage geregnet. Die Regenhäufigkeit lag somit im Mittel bezogen auf den gesamten Messzeitraum bei 39 %. Dabei war es etwa bis Ende Juli sehr feucht, im Zeitraum August bis Oktober kamen auch „Trockenperioden“ vor.

Daten zu Wind und Temperatur von der Station Grunewald (432) wurden ebenfalls aus dem BLUME übernommen. Diese Daten wurden in ca. 25 m über Grund gemessen.

3 DATENAUSWERTUNGEN DES SPÜLZEITRAUMES

3.1 Verkehrsstärken

Vom Auftraggeber wurden die Verkehrsstärken zwischen 25.05. und 11.10.04 zur Verfügung gestellt. Die abgeleiteten DTV-Werte einschließlich der im Abschnitt. 2.3 diskutierten Korrekturen und Anpassungen über diesen Zeitraum sind in der **Abb. 3.1** aufgeführt. Die Verkehrsstärken variieren entsprechend eines Wochenganges Montag bis Freitag zwischen ca. 60 000 bis 70 000 Kfz/d bei LKW-Anteilen >3.5 t im Mittel zwischen 2.5 und 3 %. An Wochenenden bzw. Feiertagen sinkt die Verkehrsstärke auf ca. 40 000 Kfz/d und der LKW-Anteil auf ca. 1 % bis 2 % ab. Der Wochenmittelwert für den Auswertez Zeitraum betrug 60 200 Kfz/d bei 2.6 % LKW-Anteil. Dabei nehmen die in Fahrtrichtung rechten Fahrstreifen ca. 3 % bis 5 % (wegen der dort häufig parkenden Fahrzeuge), die mittleren Fahrstreifen jeweils ca. 24 % und die linken Fahrstreifen ca. 21 % bis 23 % des DTV auf. Im Juli und Anfang August wurden wegen der Ferien tendenziell weniger Fahrzeuge gezählt als außerhalb dieses Zeitraumes. Ende Mai sowie Mitte bis Ende August ist tendenziell ein geringfügig höherer LKW festgestellt worden als in der anderen Auswertzeit.

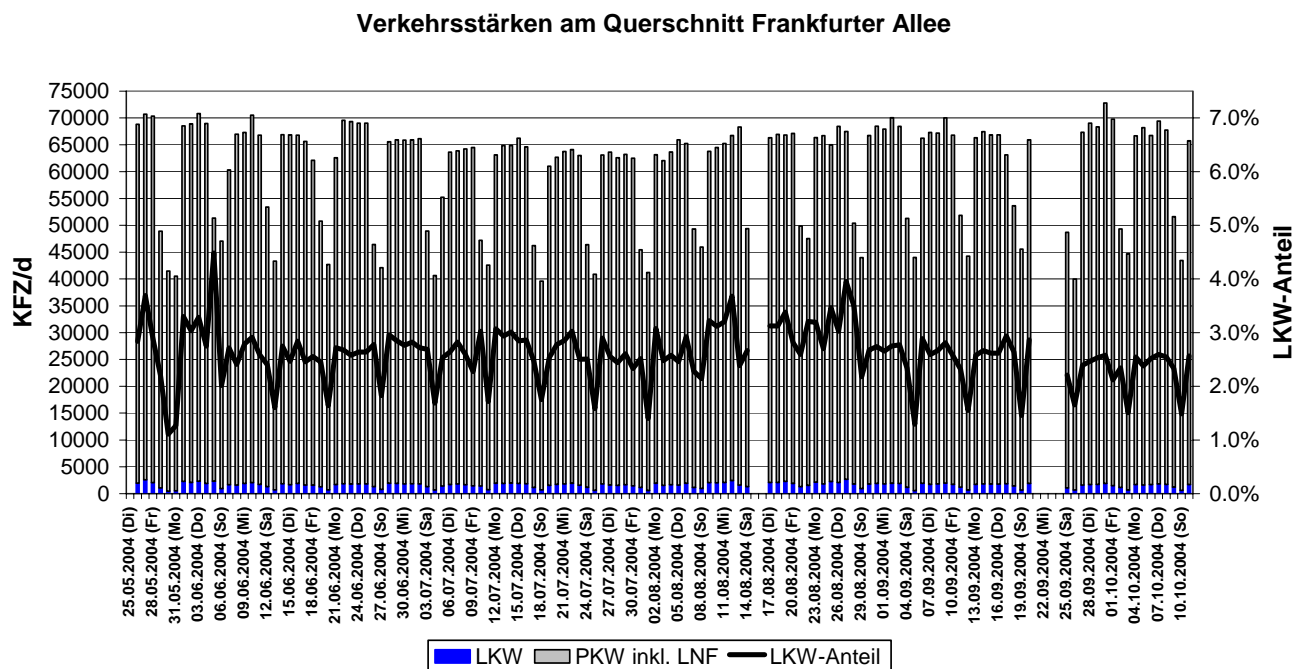


Abb. 3.1: Verkehrsstärken am Messquerschnitt Frankfurter Allee

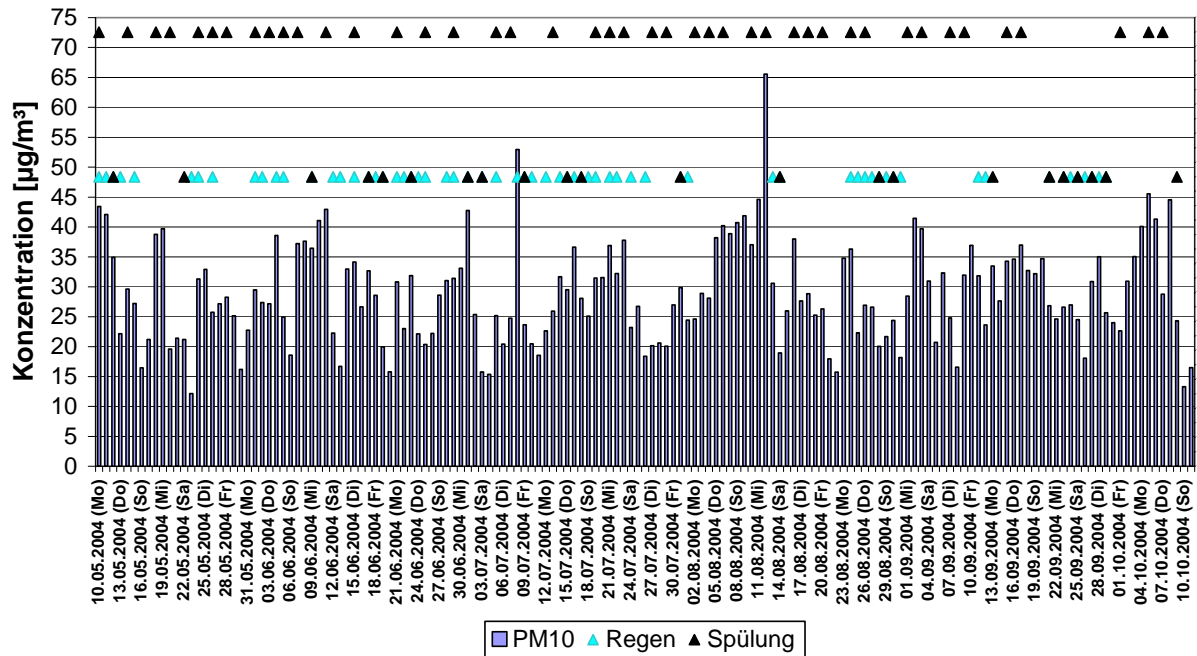
3.2 Tagesmittelwerte der PM10-Gesamt- und Zusatzbelastungen

Die vorliegenden Messdaten wurden für alle Messstationen und die Schadstoffe PM10 und NO_x als Tagesmittelwerte der Gesamtbelastungen aufbereitet. Exemplarisch ist dies für den Schadstoff PM10 für die Frankfurter Allee und den Messbus Karl-Marx-Allee in der **Abb. 3.2** aufgezeigt. Gekennzeichnet sind weiterhin die Tage mit Straßenspülung (= schwarze Dreiecke) sowie mit Regen an der Station Tempelhof (blaue Dreiecke). Hierbei bedeutet die obere Reihe von Spülungen, dass sowohl früh als auch Nachmittag gespült wurde. Die untere Reihe weist darauf hin, dass nur einmal (früh oder Mittag) gespült wurde.

Die PM10-Gesamtbelastungen als Tagesmittelwerte an der Frankfurter Allee variierten im Auswertzeitraum zwischen ca. 12 µg/m³ und 65 µg/m³. Der ab 2005 einzuhaltende Grenzwert von 50 µg/m³ wurde hier nur zweimal (ein Tag war ein Regentag mit 6 mm Niederschlag/m² an der Station Tempelhof, an dem anderen Tag wurde die Frankfurter Allee gespült) überschritten. Die Tagesmittelwerte am Messbus Karl-Marx-Allee lagen in der Tendenz aufgrund der besseren Durchlüftungsverhältnisse niedriger als an der Frankfurter Allee. Sie erreichten hier Werte zwischen 11 µg/m³ und 53 µg/m³, an einem Tag (Donnerstag 12.08.04) liegen mit 75 µg/m³ jedoch höhere Konzentrationen vor als an der Frankfurter Allee. Die Konzentrationen an der Schildhornstraße (**Abb. 3.3**) zeigen ein ähnliches Niveau wie an der Frankfurter Allee. 50 µg/m³ im Tagesmittel wurden hier allerdings nur einmal überschritten. Die Luftschadstoffbelastung an der Messstelle Nansenstraße ist von nahe liegenden Emittenten weitgehend unbeeinflusst und repräsentiert somit die städtische Hintergrundbelastung. Deshalb werden hier noch geringere Konzentrationen festgestellt als am Messbus. Die PM10-Konzentrationen lagen hier im Auswertzeitraum zwischen 11 µg/m³ und 48 µg/m³.

Die verkehrsbedingte Zusatzbelastung an den vom Straßenverkehr beeinflussten Messstellen (Frankfurter Allee, Karl-Marx-Allee, Schildhornsstraße) kann durch Subtraktion der Hintergrundbelastung von der Gesamtbelastung bestimmt werden. Es wurden keine speziellen Luv-Lee-Messungen zur Bestimmung der Hintergrundbelastung durchgeführt. Zwischen den 08.07. und 11.10.04 mit größeren Messlücken im Juli und August wurde an der Bänschstraße (ca. 500 m nördlich der Frankfurter Allee in einem Bereich, der nicht unmittelbar verkehrsbeeinflusst ist) mittels OPSIS SM200 Messungen der PM10-Konzentrationen durchgeführt. Ein direkter Vergleich der PM10-Tagesmittelwerte Bänschstraße mit Nansenstraße in der **Abb. 3.4** zeigt eine gute Korrelation mit einem Anstieg von nahe eins. Dies

Tagesmittel der PM10-Gesamtbelastung an der Frankfurter Allee



Tagesmittel der PM10-Gesamtbelastung am Meßbus (Karl-Marx-Allee)

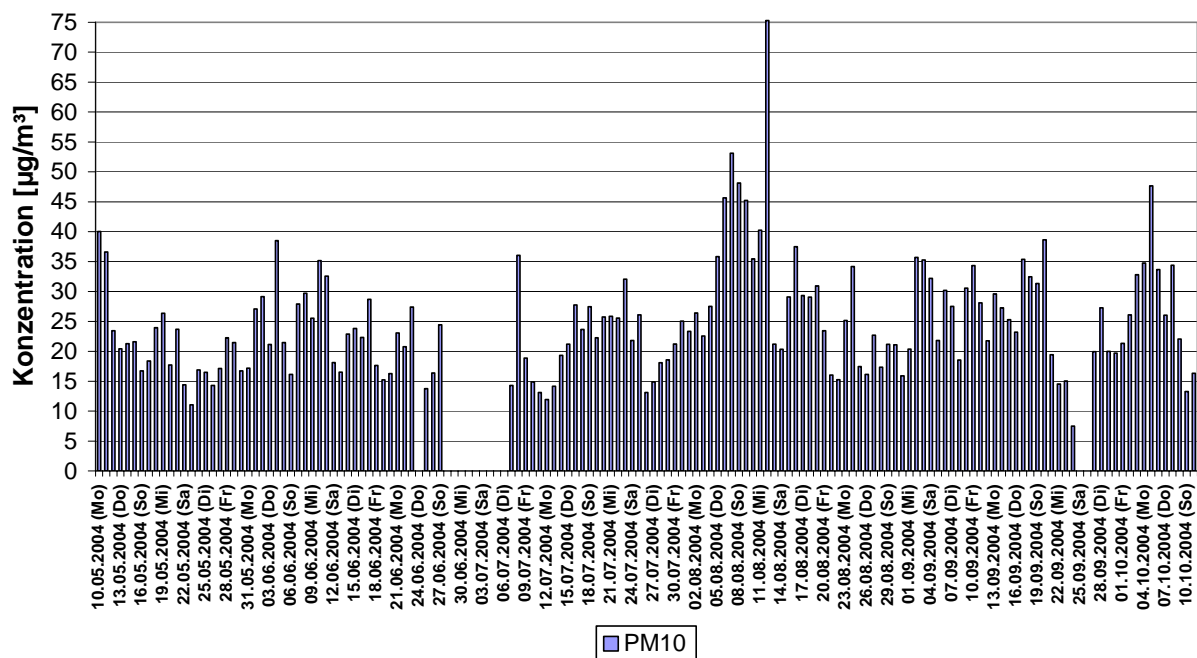
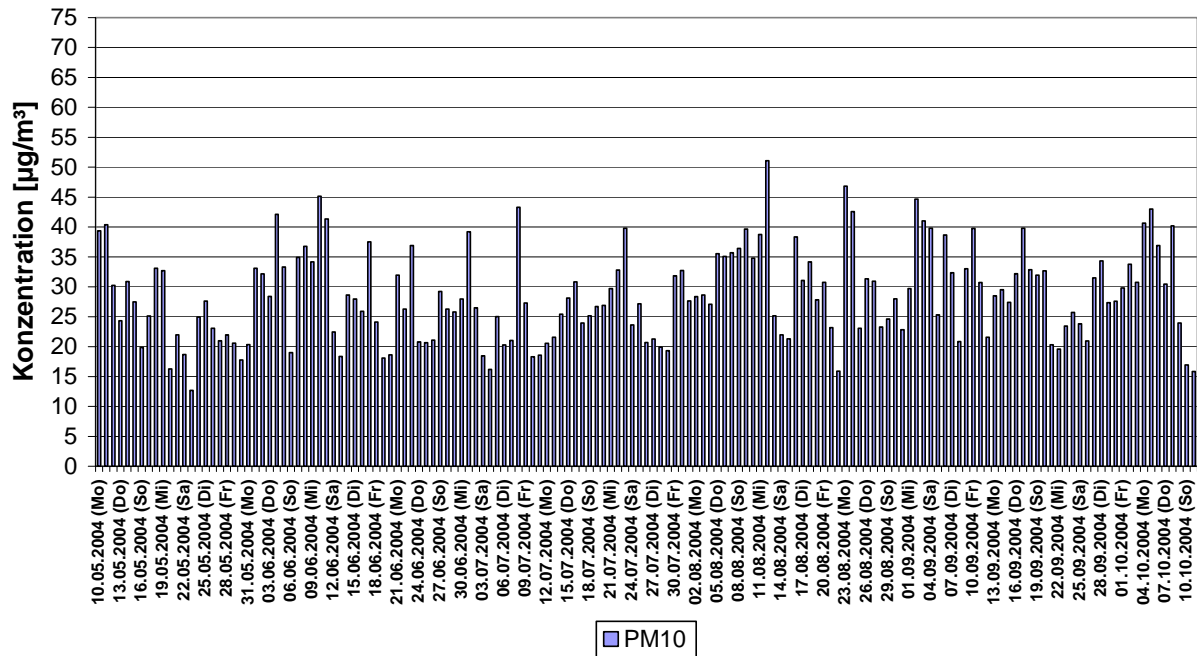


Abb. 3.2: Tagesmittelwerte der PM10-Gesamtbelastungen an der Frankfurter Allee und am Messbus Karl-Marx-Allee

Tagesmittel der PM10-Gesamtbelastung an der Schildhornstraße



Tagesmittel der PM10-Gesamtbelastung an der Station Nansenstraße

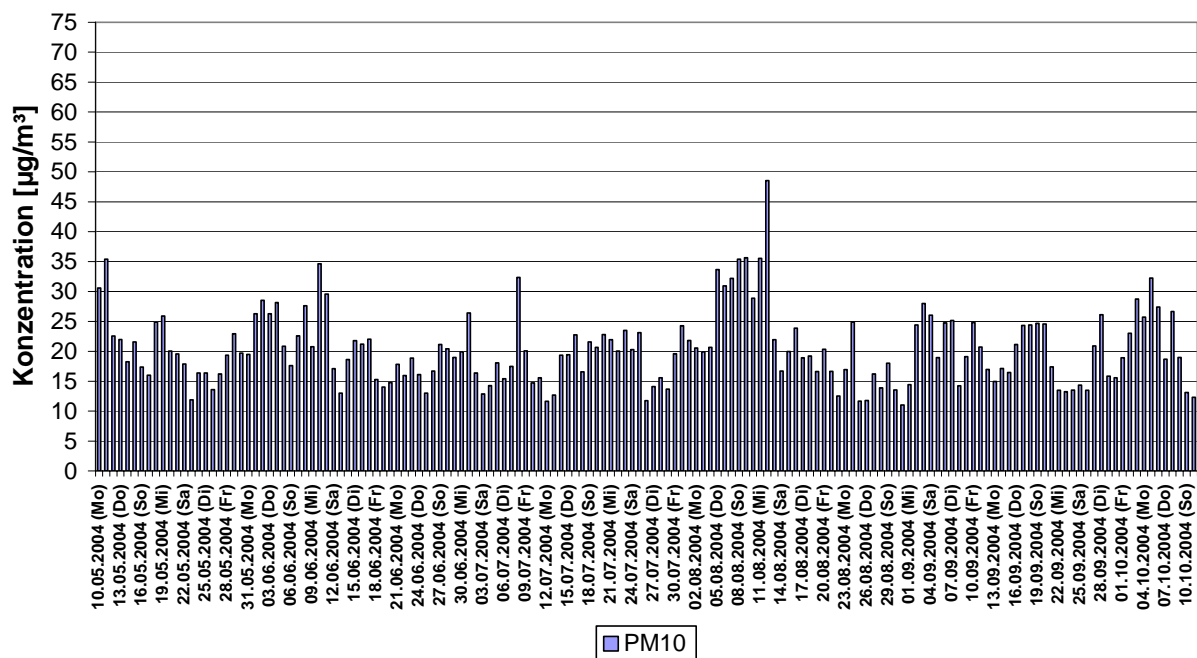


Abb. 3.3: Tagesmittelwerte an der Schildhornstraße und der städtischen Hintergrundmessstelle Nansenstraße

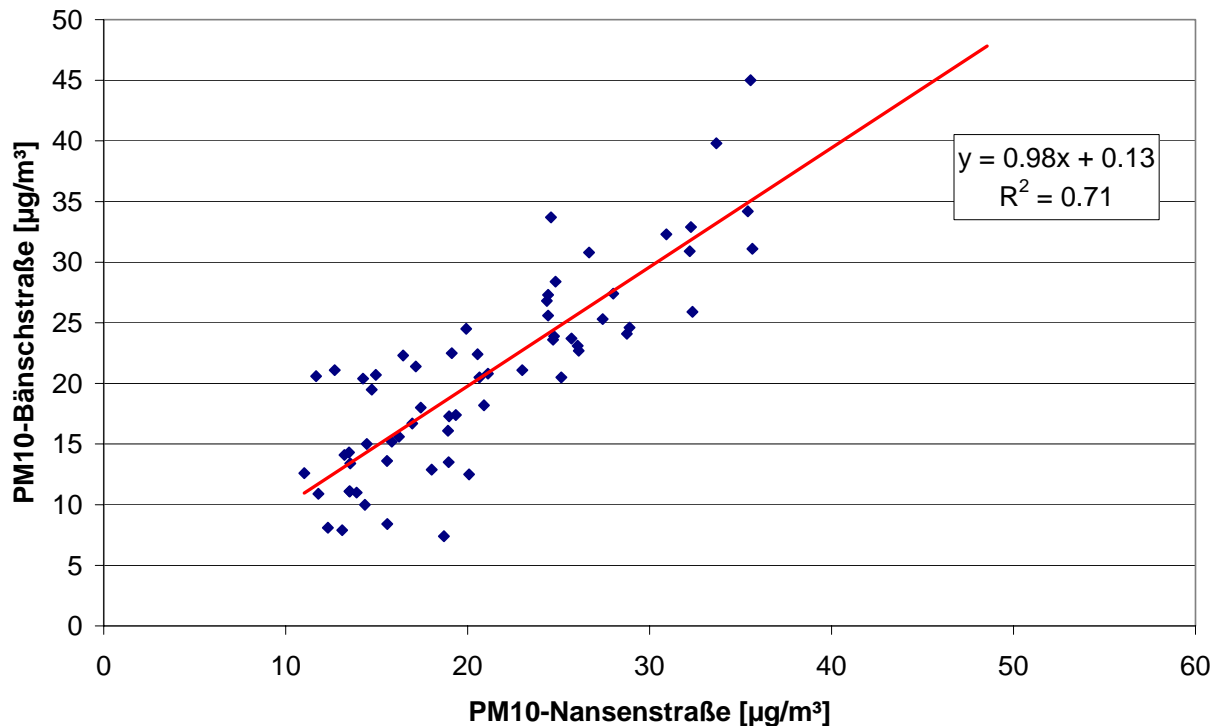
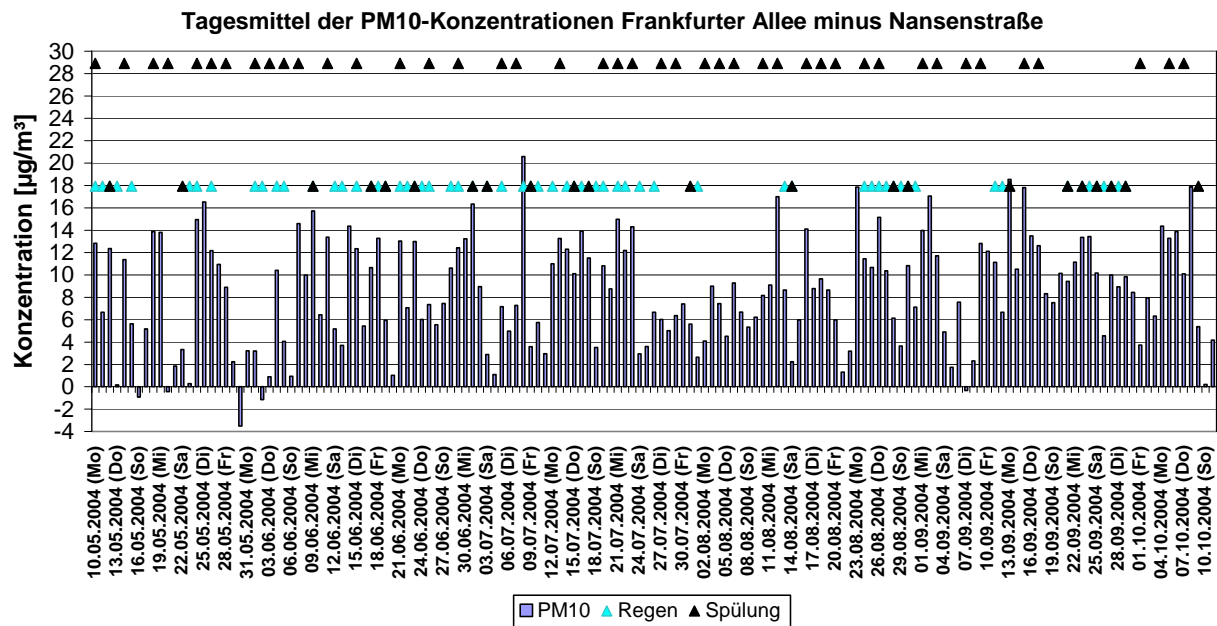


Abb. 3.4: Vergleich der PM10-Tagesmittelwerte an den Stationen Bäschstraße und Nansenstraße

deutet darauf hin, dass die PM10-Daten der Station Nansenstraße gut als Vorbelastung für die Frankfurter Allee aber auch für die anschließende Karl-Marx-Allee angesehen werden können.

Für die Schildhornstraße lagen keine Hintergrundmessungen vor. In Lohmeyer (2001) wurde in einem vierwöchigen Vergleich der Konzentrationen an der Nansenstraße und Konzentrationen an der Paulsenstraße aufgezeigt, dass die Hintergrundbelastungen in der Schildhornstraße im damaligen Zeitraum ca. 25 % niedriger lagen als an der städtischen Hintergrundmessstelle Nansenstraße. Da aber neue Vergleichsmessungen nicht vorlagen wurde im weiteren Verlauf der Auswertungen für die Schildhornstraße auch auf die Konzentrationen den Nansenstraße zurückgegriffen.

Der Verkehrsbeitrag wurde somit abgeschätzt, indem von den Gesamtbelastungen an den Verkehrsstationen die Konzentrationen der städtischen Hintergrundmessstelle Nansenstraße (siehe **Abb. 3.3**) abgezogen wurden. Diese tagesmittleren Zusatzbelastungen sind in den **Abb. 3.5** und **3.6** für den Auswertzeitraum und den Schadstoff PM10 für die Frankfurter



Tagesmittel der PM10-Konzentrationen Messbus minus Nansenstraße

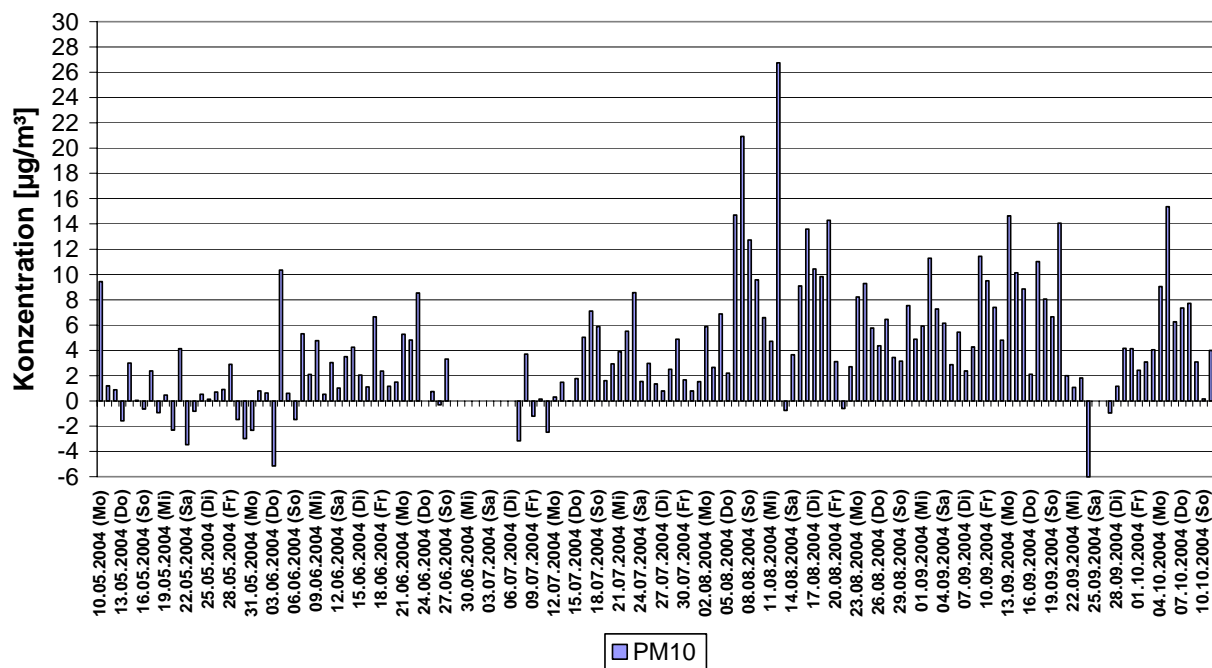


Abb. 3.5: Tagesmittelwerte der abgeschätzten Verkehrsbeiträge an der Frankfurter Allee und an der Karl-Marx-Allee

Tagesmittel der PM10-Konzentration Schildhornstraße minus Nansenstraße

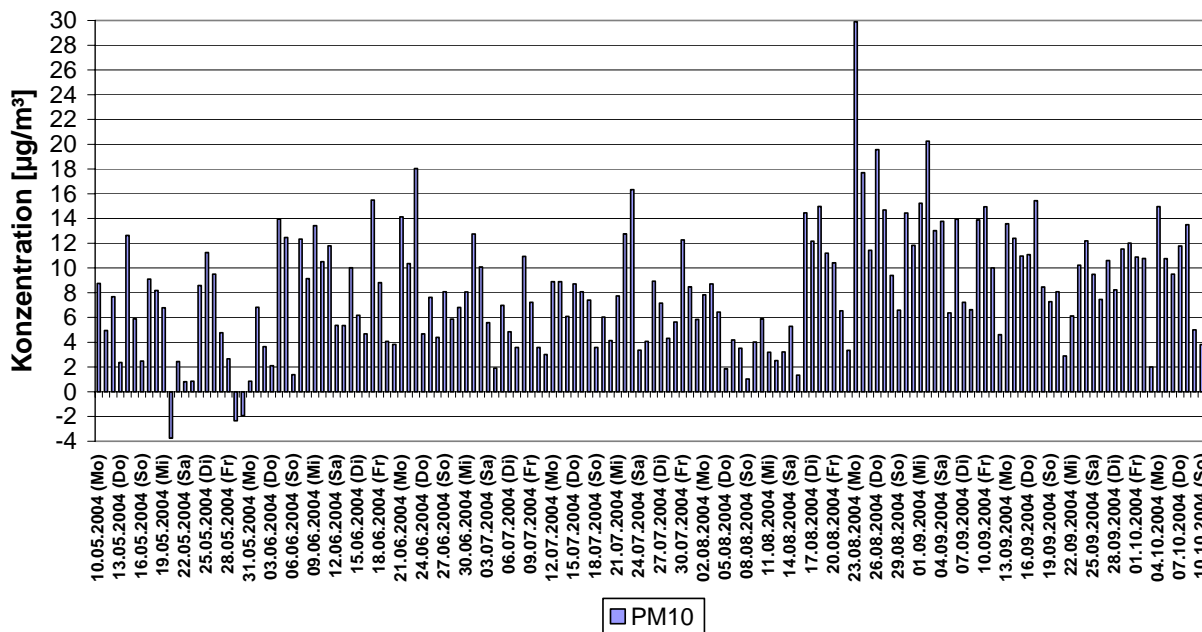


Abb. 3.6: Tagesmittelwerte der abgeschätzten Verkehrsbeiträge an der Schildhornstraße Allee, die Karl-Marx-Allee und die Schildhornstraße dargestellt.

Die abgeschätzten Verkehrsbeiträge variieren für die Frankfurter Allee im Auswertzeitraum zwischen -4 (also die PM10-Konzentrationen an der Nansenstraße waren höher als an der Frankfurter Allee) und 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, am Messbus zwischen -6 und 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sowie an der Schildhornstraße zwischen -4 und 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die negativen Werte weisen darauf hin, dass die Nansenstraße doch nicht immer die korrekte Vorbelastung für die Verkehrsstationen darstellt oder dass es Probleme mit der Messtechnik gab. Da diese Fälle allerdings selten sind ist diese Vorgehensweise akzeptabel.

3.3 Einfluss der Spülungen auf die PM10-Konzentrationen

Grundsätzlich weisen die angegebenen Zusatzbelastungen starke Streuungen auf, die auf den Schwankungen im Verkehrsaufkommen, den unterschiedlichen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen, den Emissionsbedingungen aber auch auf den Unsicherheiten bei der Bestimmung dieser Zusatzbelastung durch Differenzbildung mit der Nansenstraße beru-

hen. Um zunächst die Variationen in den Ausbreitungsbedingungen und den Verkehrsstärken auszugleichen werden die abgeleiteten PM10- und NO_x-Verkehrsbeiträge ins Verhältnis gesetzt und anschließend eine Auswertung nur für die Werktage (Montag bis Freitag entspricht etwa gleichen Verkehrsmengen und -zusammensetzungen) vorgenommen.

Verglichen werden dabei für die Tage mit und ohne Spülung die Zusatzbelastungen PM10 und NO_x. Die Stickoxide (NO_x) können hier als Tracer für die von den Spülungen unbeeinflussten Verkehrsemissionen angesehen werden, unter der Annahme gleichen Ausbreitungsverhaltens von PM10 und NO_x. Aus der Variation der NO_x-Zusatzbelastung an der Frankfurter Allee zwischen den Tagen mit Spülung und ohne Spülung kann bei gleichem NO_x-Emissionsverhalten auf die Veränderung der Ausbreitungsbedingungen geschlossen werden. Die Variationen im Quotienten aus der PM10- und NO_x-Zusatzbelastung könnten deshalb auf Veränderungen im PM10-Emissionsverhalten hinweisen.

In den **Abb. 3.7** und **Abb. 3.8** sind die Quotienten aus PM10- und NO_x-Zusatzbelastung für den Auswertzeitraum dargestellt. Gekennzeichnet sind wiederum die Tage mit Straßenspülung (= schwarze Dreiecke) sowie mit Regen an der Station Tempelhof (blaue Dreiecke). Hierbei bedeutet eine „2“ als Anzahl von Spülungen, dass sowohl früh als auch Nachmittag gespült wurde. Eine „1“ bedeutet, dass nur einmal (früh oder Mittag) gespült wurde.

Es ist zu erkennen, dass die Variationen der Quotienten mit Werten zwischen -0.30 und 0.95 in der Frankfurter Allee deutlich größer sind als mit Werten zwischen -0.1 und 0.16 in der Schildhornstraße. Die Quotienten dieser Zusatzbelastungen am Messbus Karl-Marx-Straße variieren stärker als an der Frankfurter Allee. Hier sei allerdings auf die deutlich geringeren Verkehrsbeiträge und die damit deutlich höheren relativen Unsicherheiten in der verwendeten Gesamt- und Vorbelastung hingewiesen.

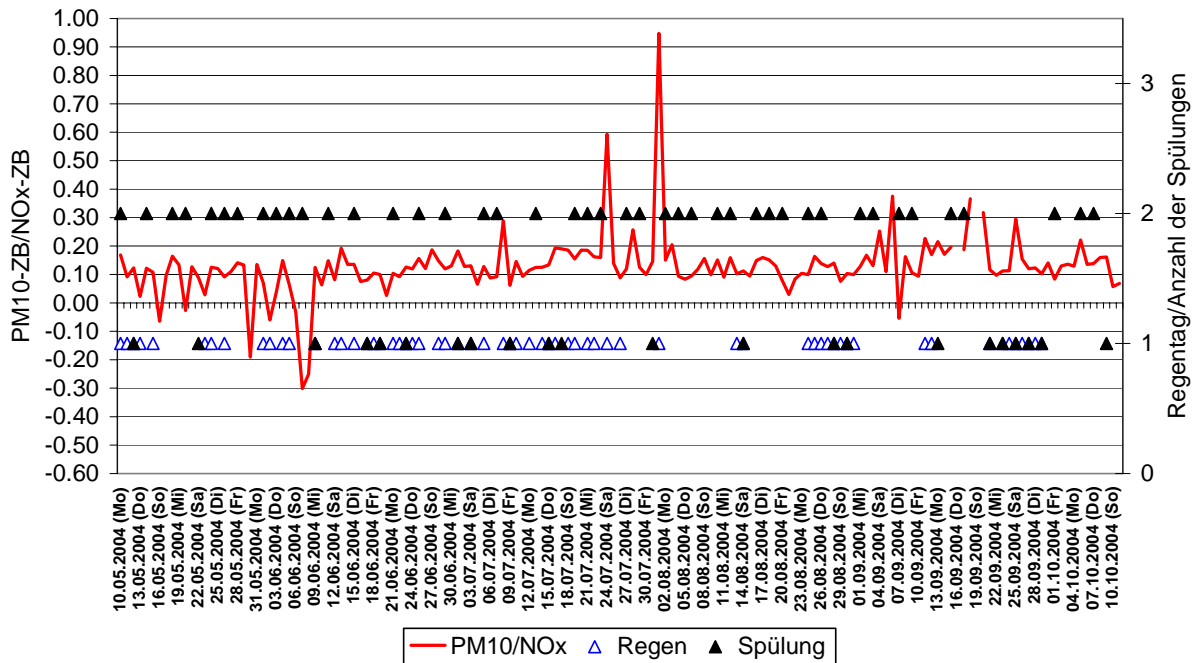
Die statistische Auswertung der tagesmittleren Konzentrationen nach den Kriterien „alle Werktage (Montag bis Freitag)“, „trockener Werktag ohne Spülung“, „trockener Werktag mit Spülung“ sowie „Werktag mit Regen“ ist in der **Abb. 3.9** bis **3.11** aufgeführt. Hierbei ist folgendes festzustellen:

- Die PM10-Gesamtbelastung (**Abb. 3.9**) an trockenen Werktagen mit Straßenspülung unterscheidet sich an der Frankfurter Allee nicht relevant von der PM10-Konzentration an trockenen Werktagen ohne Straßenspülung. Im Auswertzeitraum Mai bis Oktober ist sogar an Werktagen mit Spülung eine geringfügig höhere PM10-Konzentration zu verzeichnen als an trockenen Tagen ohne Spülung. Dies gilt auch für den Messbus in der

Karl-Marx-Allee. An der Schildhornstraße liegen die PM10-Konzentrationen an Werktagen mit Spülungen eher auf dem Niveau der Tage ohne Spülung. Die PM10-Hintergrundkonzentrationen (Nansenstraße und regionaler Hintergrund) zeigen wie auch bei der Schildhornstraße keinen relevanten Unterschied für die Werktage mit bzw. ohne Spülung. Die Konzentrationsunterschiede in der Frankfurter Allee und der Karl-Marx-Allee sind somit nur in ganz geringem Maße durch unterschiedliche Vorbelastungen bedingt.

- Werktage mit Regen zeigen an allen drei Verkehrsmessstationen (ca. 10 % an Frankfurter Allee und Schildhornstraße, ca. 20 % an Karl-Marx-Allee) geringere PM10-Gesamtbelastungen als trockene Tage (**Abb. 3.9**). Die Reduktionen durch Regen an der Frankfurter Allee und der Schildhornstraße können durch die Reduktionen in der städtischen Hintergrundbelastung erklärt werden. In der Karl-Marx-Allee scheinen wegen der dortigen anderen Bebauungsstruktur noch Ausbreitungseffekte eine Rolle zu spielen.
- Der PM10-Verkehrsbeitrag (**Abb. 3.10**) zeigt an trockenen Tagen ohne Spülung ebenfalls keine relevanten Unterschiede zu den trockenen Tagen mit Spülung. Dies gilt sowohl für die Frankfurter Allee als auch für die Schildhornstraße. An der Karl-Marx-Allee sind an Tagen ohne Spülung deutlich geringere PM10-Zusatzbelastungen gemessen wurden als an Tagen mit Spülung. Allerdings ist die Zusatzbelastung hier auf einem sehr geringen Niveau. An trockenen Werktagen mit Straßenspülung zeigen sich im Auswertzeitraum somit in der Frankfurter Allee in der Gesamtbelastung und in der Zusatzbelastung keine geringeren (sondern eher geringfügig höhere) PM10-Konzentrationen als an trockenen Werktagen ohne Spülung.
- Der Quotient der Zusatzbelastung von PM10 und NO_x (**Abb. 3.11**) ist in der Frankfurter Allee und der Karl-Marx-Allee im Mittel bemerkenswerter Weise fast doppelt so hoch wie in der Schildhornstraße. In Lohmeyer et al. (2001) wurde gezeigt, dass die NO_x-Vorbelastung an der Schildhornstraße gut durch die an der Nansenstraße beschrieben wird, die PM10-Vorbelastung im damals beprobten 4 Wochenzeitraum ca. 25 % niedriger als an der Nansenstraße war. Dies würde einen Grossteil aber nicht alles des o. g. Unterschiedes erklären. Der Quotient zeigt an der Frankfurter Allee für die Werktage mit Spülung einen geringfügig (ca. 10 %) höheren Wert als an Werktagen ohne Spülung. Dies korrespondiert allerdings mit den Verhältnissen am Messbus Karl-Marx-Allee. An der Schildhornstraße ist dies ausgeglichen. Dies deutet in der Tendenz eher auf keine Abnahme der PM10-Zusatzbelastung an Werktagen mit Spülung relativ zu Werktagen ohne Spülung in der Frankfurter Allee hin. An Regentagen ist in der Frankfurter Allee und der Schildhornstraße das Verhältnis der PM10- und NO_x-Zusatzbelastungen etwa gleich groß wie an trockenen Werktagen ohne Spülung, am Messbus deutlich geringer.

Quotient der Zusatzbelastung von PM10 und NOx (Tagesmittel) an der Frankfurter Allee



Quotient der Zusatzbelastung von PM10 und NOx (Tagesmittel) an der Schildhornstraße

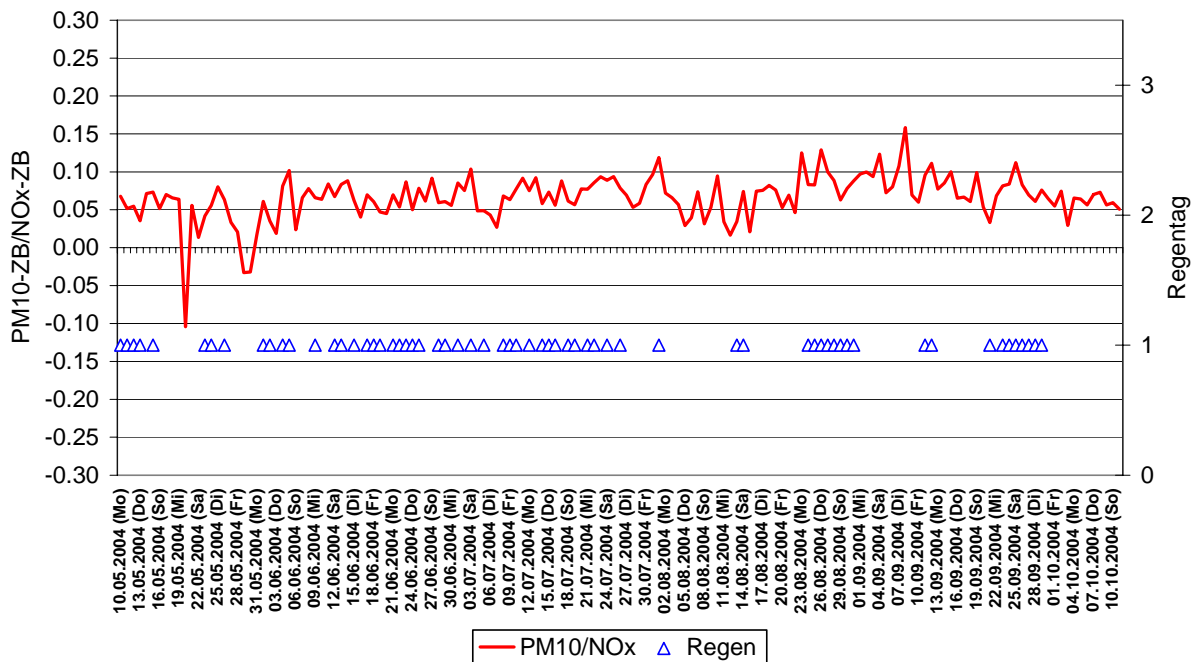


Abb. 3.7: Quotient der Tagesmittelwerte von Zusatzbelastung PM10 und NO_x an der Frankfurter Allee und der Schildhornstraße

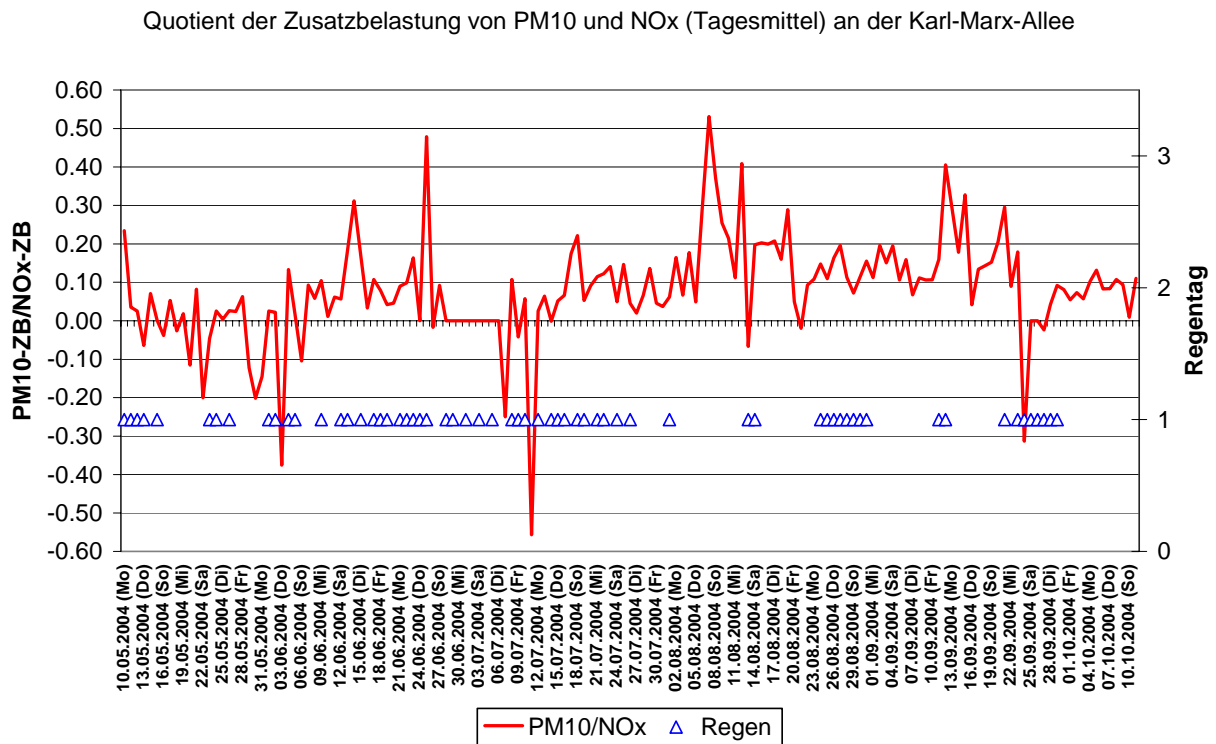
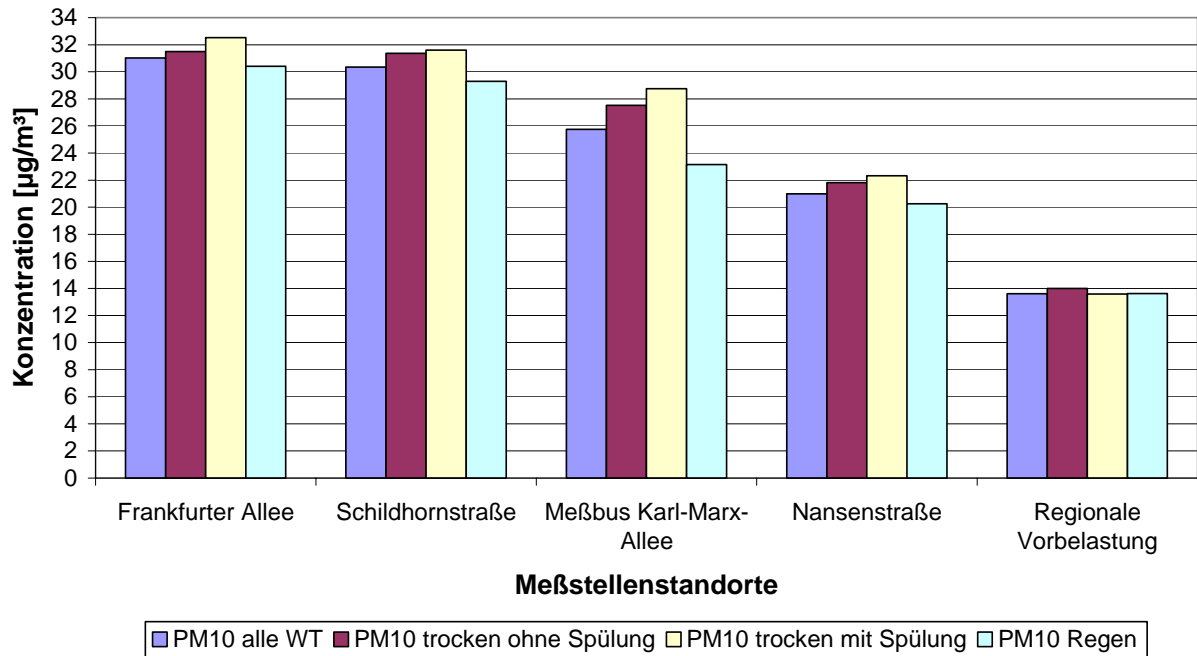


Abb. 3.8: Quotient der Tagesmittelwerte von Zusatzbelastung PM10 und NO_x an der Karl-Marx-Allee

Mittelwert der Gesamtbelastung von PM10 für die Werktage



Mittelwert der Gesamtbelastung von NOx für die Werktage

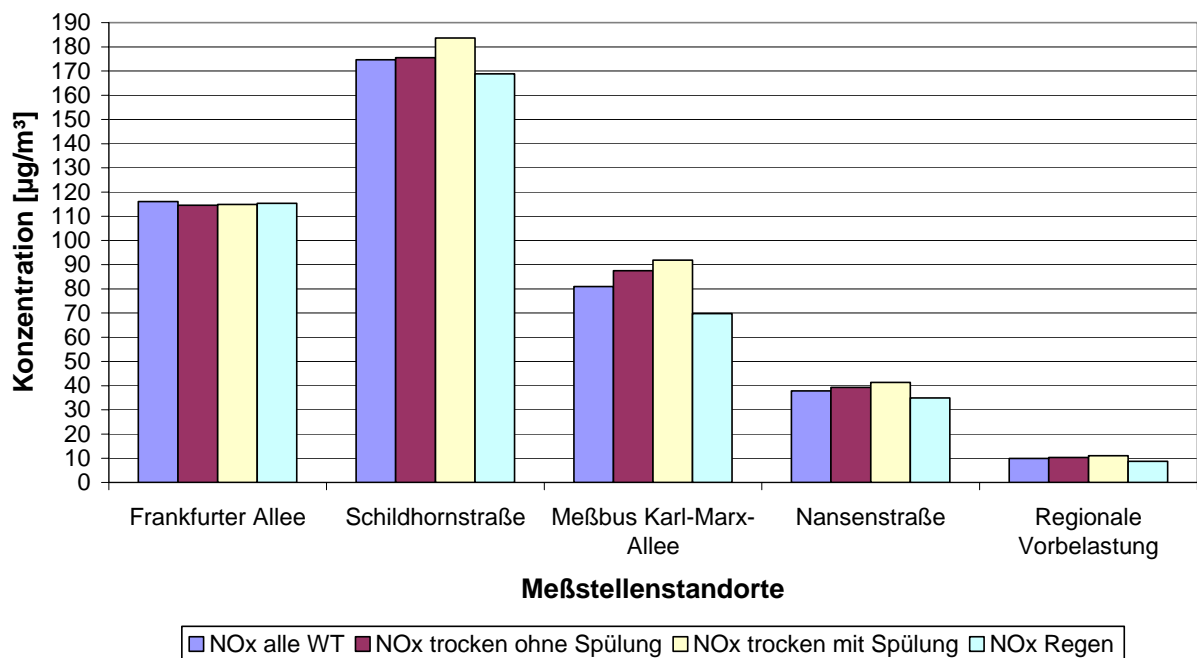
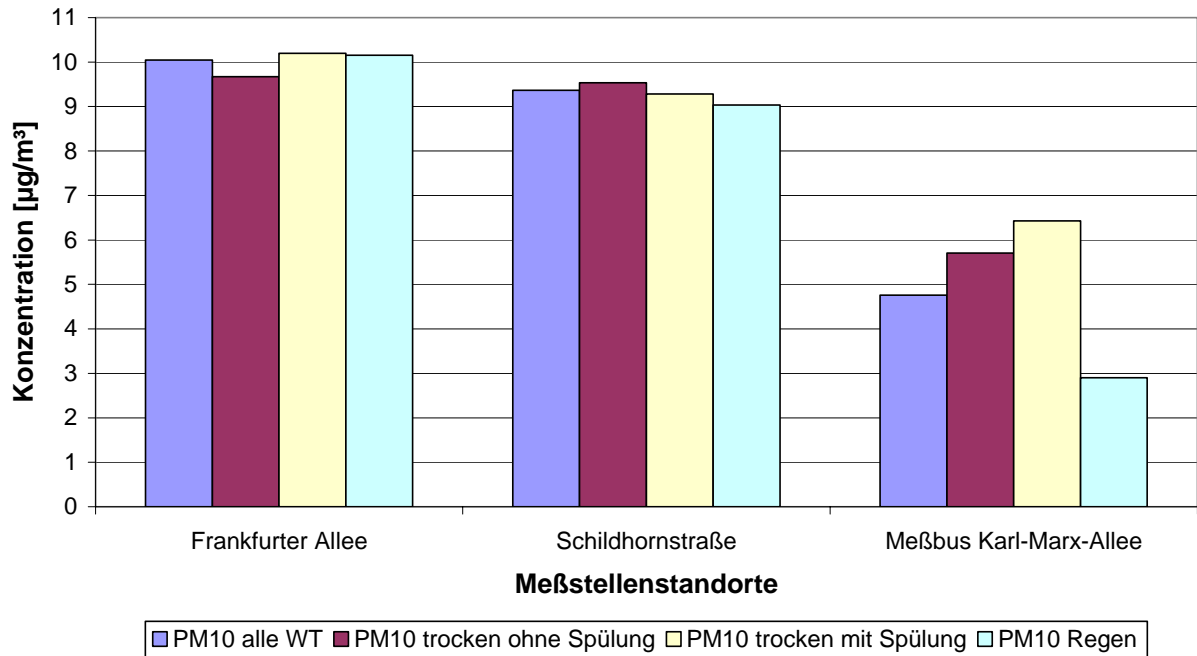


Abb. 3.9: Mittelwerte der NO_x- und PM10-Gesamtbelastung für die Werktage im Auswertzeitraum

Mittelwert der Zusatzbelastung von PM10 für die Werktage



Mittelwert der Zusatzbelastung von NOx für die Werktage

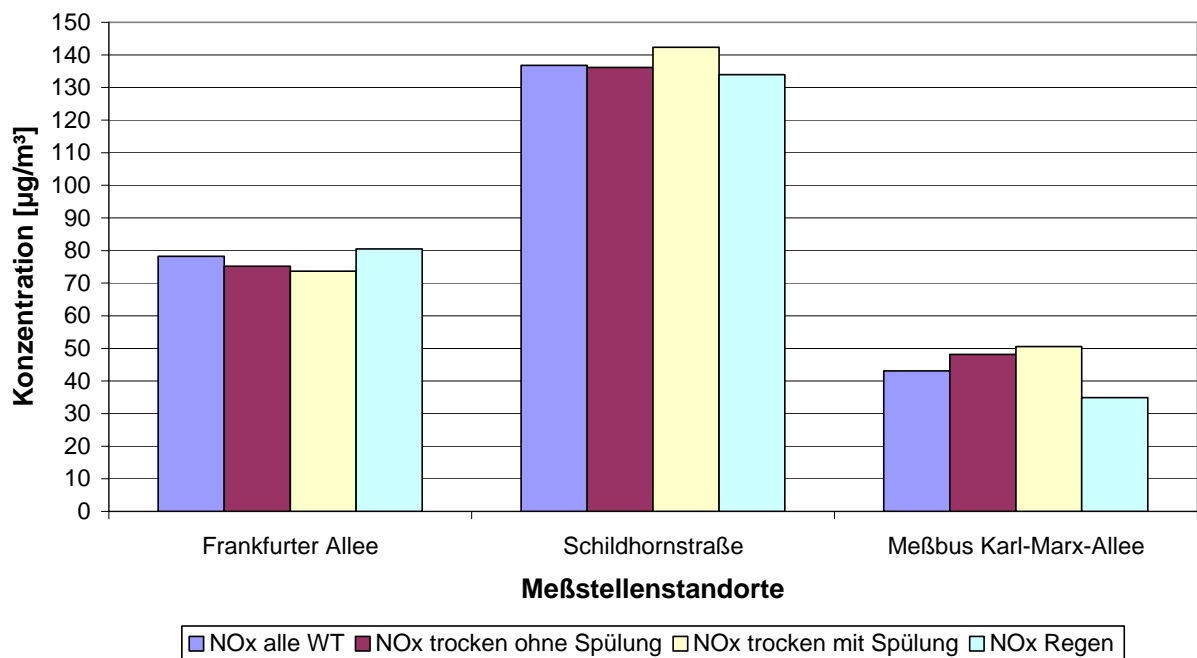


Abb. 3.10: Mittelwerte der NO_x- und PM10-Zusatzbelastung für die Werktage im Auswertzeitraum

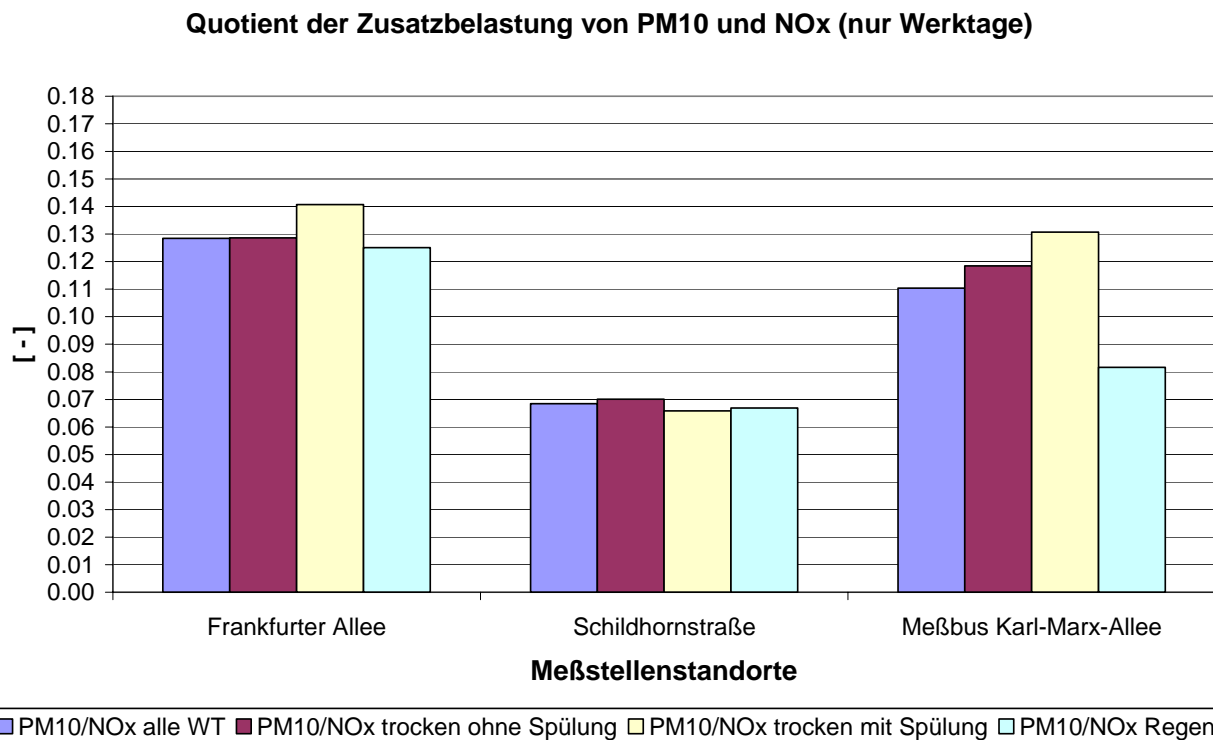


Abb. 3.11: Mittelwerte der Quotienten der Zusatzbelastungen von PM10 und NO_x für die Werktage im Auswertzeitraum

3.4 Einfluss der Spülungen auf die PM10-Emissionen

Um den Einfluss der Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie Änderungen im Verkehrsaufkommen und Fahrzeugzusammensetzung auf die Höhe der Zusatzbelastungen zu eliminieren, um also ein direktes Maß für die PM10-Emissionen zu finden, wurden in einer nächsten Auswertung die tagesmittleren PM10-Emissionsfaktoren abgeleitet. Dazu wurden die über 24 h gemittelten NO_x-Emissionsdichten aus den gemessenen Verkehrsmengen (PKW, LKW) und den PKW bzw. LKW-Emissionsfaktoren nach HBEFa2.1 (UBA 2004) berechnet. Als tagesmittlere Verkehrssituation für die NO_x-Emissionsberechnung wurde entsprechend der örtlichen Gegebenheiten und der von der VMZ gemessenen tagesmittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten (28 km/h) „LSA2 (Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlage, mittlere Störungen)“ angesetzt. Als Emissionsfaktoren ergeben sich damit für das entsprechende Bezugsjahr 2004 und der Flottenzusammensetzung entsprechend HBEFa 2.1 (UBA, 2004)

PKW inkl. LNF: 0.36 g NO_x/(km · Fzg)
 LKW: 10.0 g NO_x/(km · Fzg).

Der Quotient aus NO_x-Zusatzbelastung und der NO_x-Emissionsdichte wird als Verdünnungsfaktor bezeichnet. Dividiert man den Verdünnungsfaktor durch die PM10-Zusatzbelastung erhält man die PM10-Emissionsdichte und bei weiterer Division durch die Verkehrsstärke [DTV] den PM10-Emissionsfaktor. Diese Methode wird NO_x-Tracermethode genannt. Sie legt die begründete Annahme zugrunde, dass sich NO_x- und PM10 in unmittelbarer Straßennähe gleichartig ausbreiten.

Die **Abb. 3.12** zeigt die ermittelten PM10-Emissionsfaktoren im Tagesmittel. Gekennzeichnet sind wieder die Tage mit Regen bzw. mit Straßenspülung. Da detaillierte und vollständige vor Ort gemessene Verkehrsdaten erst ab dem 26.5.05 vorlagen, wurden Emissionsfaktoren für den Zeitraum vorher nicht bestimmt. Die Fehltage im weiteren Verlauf resultieren aus NO_x-Zusatzbelastungen unterhalb einer angesetzten Schwelle von 20 µg NO_x/m³ im Tagesmittel (um die Unsicherheiten bei der Emissionsbestimmung mittels NO_x-Tracermethode zu reduzieren) bzw. aus fehlenden oder unvollständigen Verkehrsdaten.

Tagesmittel der PM10-Emissionsfaktoren an der Frankfurter Allee ermittelt mit NO_x-Tracer-Methode

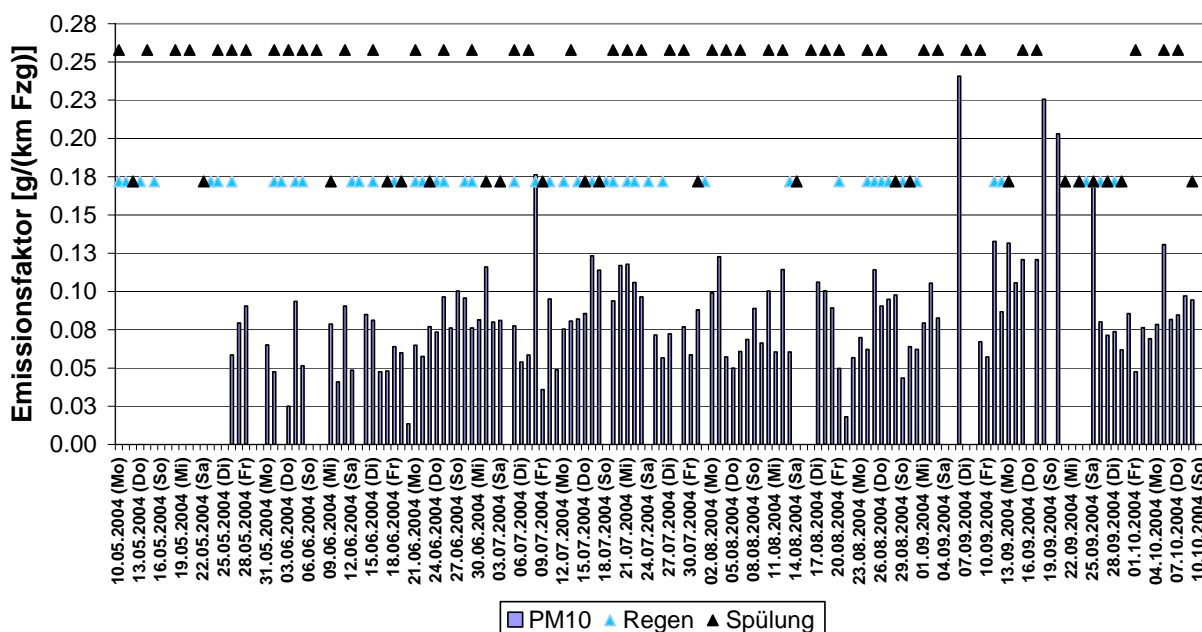


Abb. 3.12: Mittels NO_x-Tracermethode bestimmte PM10-Emissionsfaktoren (Tagesmittel)

Die berechneten Tagesmittelwerte variieren zwischen 0.014 g/(km · Fzg) (20.06.04 = Sonntag) und 0.24 g/(km · Fzg) (06.09.04 = Montag), im Mittel um ca. 0.08 g/(km · Fzg). Die statistische Auswertung im Auswertzeitraum liefert die Ergebnisse, welche in der **Abb. 3.13** dargestellt sind.

So liegt der mit dieser Methode bestimmte mittlere Werktagemissionsfaktor bei 0.084 g/(km · Fzg), an trockenen Werktagen ohne Spülung bei 0.089 g/(km · Fzg), an trockenen Werktagen mit Spülung bei 0.084 g/(km · Fzg) und an Werktagen mit Regen bei 0.083 g/(km · Fzg). Es konnte für den Auswertzeitraum keine relevante Änderung des tagesmittleren PM10-Emissionsfaktors in Abhängigkeit vom Regen bzw. von Straßenspülung festgestellt werden. Die Minderungen liegen bei ca. 6 % und damit innerhalb der Bandbreite des zu erwartenden Fehlers dieser Bestimmungsmethode (siehe dazu Fußnote auf Seite 36).

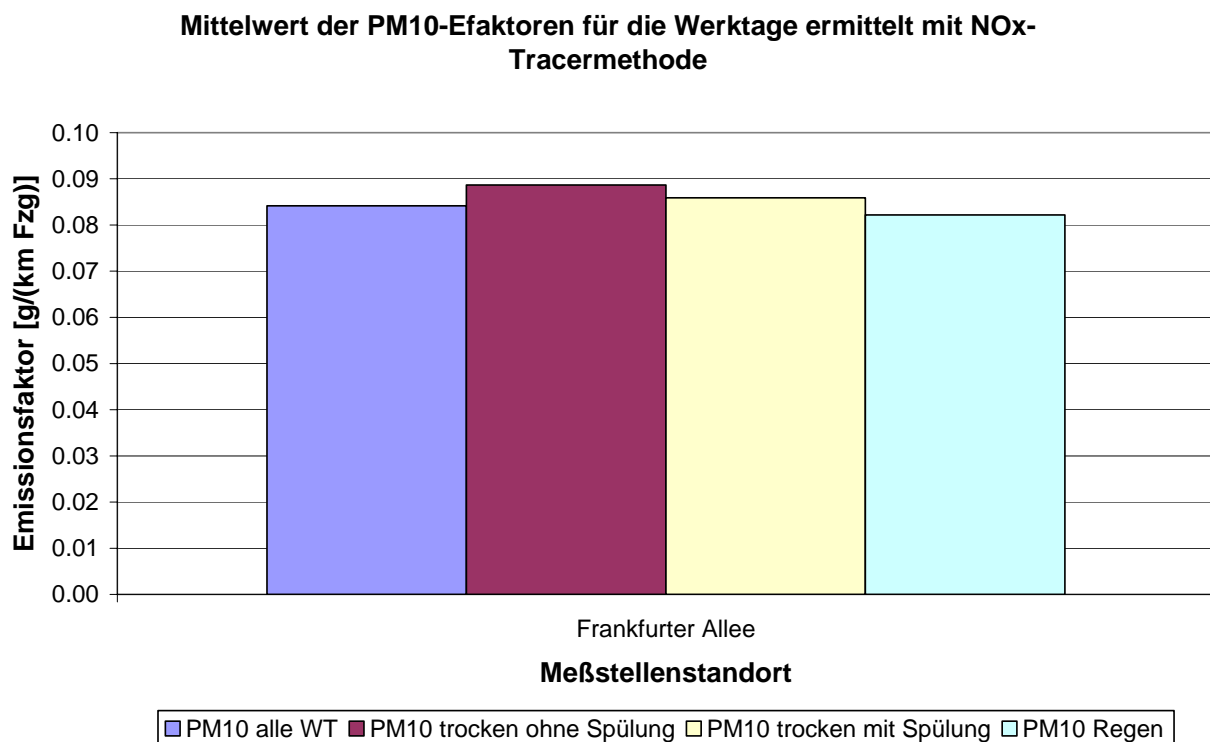


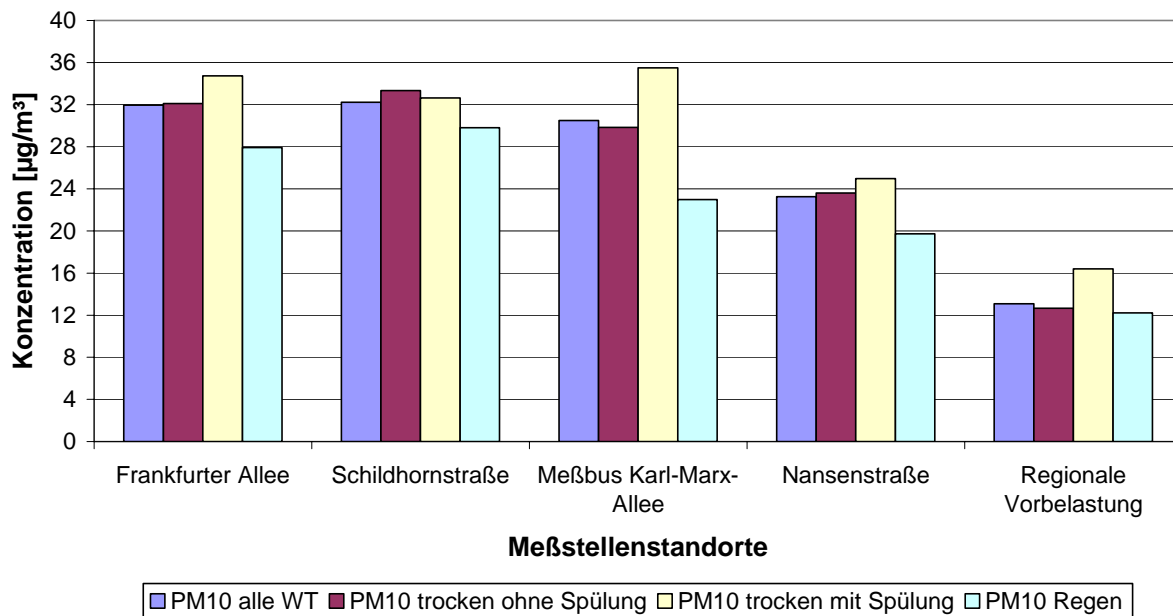
Abb. 3.13: Ergebnis der statistischen Auswertung der mittels NO_x-Tracermethode bestimmten PM10-Emissionsfaktoren (Tagesmittel)

4 AUSWERTUNG EINER TROCKENPERIODE

Während der Auswerteperiode Mai bis Juli relativ feucht war, begann nach dem Regen am 26.07.04 (6 mm an der Station Tempelhof) eine relativ trockene Zeit, die am 24.08. (7 mm Niederschlag) endete. In dieser Zeit hatte es nur am 01.08. (4 mm), 13.8. (11 mm) und 20.8. (9 mm) geregnet. Im Folgenden werden die Werktage im Zeitraum 26.07 bis 24.08., wie bereits in den vorherigen Kapiteln, unter Beachtung der trockenen Tage ohne Spülung, trockenen Tage mit Spülung und Regentage ausgewertet um zu prüfen, ob die Straßenspülungen in trockenen Zeiträumen Minderungseffekte zeigen. Hierbei ist folgendes festzustellen:

- Die PM10-Gesamtbelastung (**Abb. 4.1** oben) an trockenen Werktagen mit Straßenspülung ist an der Frankfurter Allee etwas höher (ca. $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) als an trockenen Werktagen ohne Straßenspülung. An der Schildhornstraße ist für diese Tage eine geringe Abnahme zu verzeichnen. Am Messbus Karl-Marx-Allee liegen die PM10-Konzentrationen an Werktagen mit Spülungen deutlich höher als an Werktagen ohne Spülung. Die vier Werktage mit Regen zeigen an allen drei Verkehrsmessstationen mit ca. 10 % bis 20 % deutlich niedrigere PM10-Gesamtbelastungen als an den trockenen Werktagen.
- Der PM10-Verkehrsbeitrag (**Abb. 4.1** unten) zeigt für die Frankfurter Allee an trockenen Tagen mit Spülung höhere Konzentrationen als an den trockenen Tagen ohne Spülung. Dies gilt auch für den Messbus Karl-Marx-Allee (deutlich höhere Konzentrationen). An der Schildhornstraße sind an Tagen mit Spülung deutlich geringere PM10-Zusatzbelastungen gemessen worden als an Tagen ohne Spülung. An trockenen Werktagen mit Straßenspülung zeigen sich im Auswerteperiode somit in der Frankfurter Allee in der Gesamtbelastung und in der Zusatzbelastung keine geringeren PM10-Konzentrationen als an trockenen Werktagen ohne Spülung.
- Der Quotient der Zusatzbelastung von PM10 und NO_x (**Abb. 4.2**) zeigt an der Frankfurter Allee für die Werktage mit Spülung einen leicht höheren Wert als an Werktagen ohne Spülung. An der Schildhornstraße sind für die Tage mit Spülung leicht geringere Werte festzustellen, am Messbus Karl-Marx-Allee liegt eine deutliche Zunahme dieses Quotienten vor. An Regentagen ist in der Frankfurter Allee und der Schildhornstraße das Verhältnis der PM10- und NO_x -Zusatzbelastungen etwas niedriger als an trockenen Werktagen ohne Spülung.

Mittelwert der Gesamtbelastung von PM10 für die Werktage, Trockenperiode



Mittelwert der Zusatzbelastung von PM10 für die Werktage, Trockenperiode

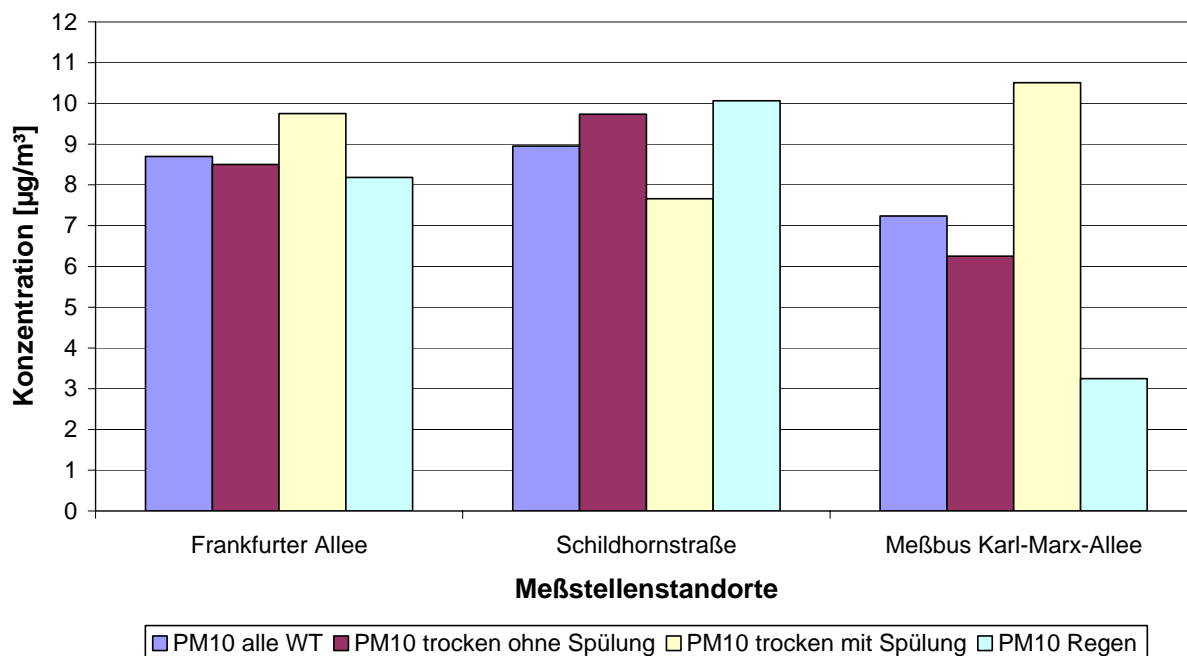


Abb. 4.1: Mittelwerte PM10-Gesamt- und Zusatzbelastung für die Werktage im Auswertzeitraum 26.07 bis 24.08.04

**Quotient der Zusatzbelastung von PM10 und NO_x (nur Werktage),
Trockenperiode**

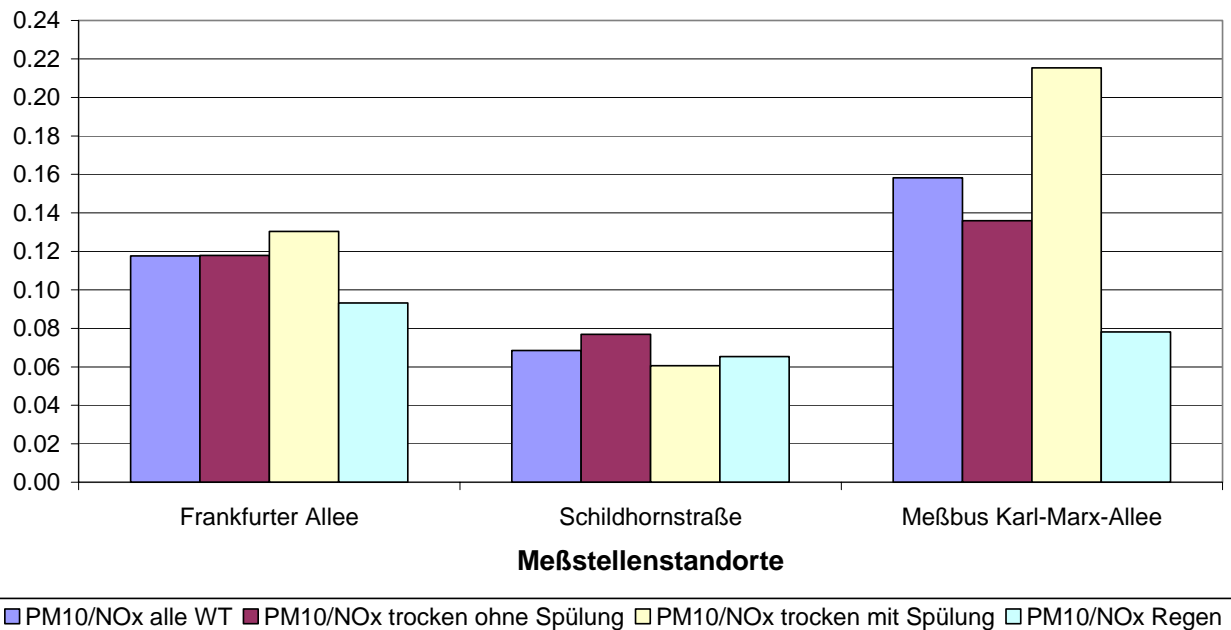


Abb. 4.2: Mittelwerte der Quotienten der Zusatzbelastungen von PM10 und NO_x für die Werktage im Auswertzeitraum 26.07. bis 24.08.04

Die **Abb. 4.3** zeigt die ermittelten PM10-Emissionsfaktoren im Tagesmittel. Gekennzeichnet sind wieder die Tage mit Regen bzw. mit Straßenspülung. Die Fehltage im weiteren Verlauf resultieren aus NO_x-Zusatzbelastungen unterhalb der angesetzten Schwelle von 20 µg NO_x/m³ im Tagesmittel bzw. aus fehlenden oder unvollständigen Verkehrsdaten.

Die berechneten Tagesmittelwerte variieren für die Werktage zwischen 0.05 g/(km · Fzg) und 0.125 g/(km · Fzg), im Mittel um ca. 0.08 g/(km · Fzg). Die statistische Auswertung im Auswertzeitraum liefert die Ergebnisse, welche in der **Abb. 4.4** dargestellt sind.

So liegt der mit dieser Methode bestimmte mittlere Werktagemissionsfaktor bei 0.076 g/(km · Fzg). Es wurde für den Auswertzeitraum eine geringe (nicht signifikante) Erhöhung des tagesmittleren PM10-Emissionsfaktors um ca. 6 % im Vergleich zu den Tagen ohne Spülung festgestellt. An Regentagen wurde eine Reduktion von ca. 25 % bis 30 % der PM10-Emissionen gegenüber den trockenen Werktagen abgeleitet.

Tagesmittel der PM10-Emissionsfaktoren an der Frankfurter Allee ermittelt mit NO_x-Tracer-Methode, Trockenperiode

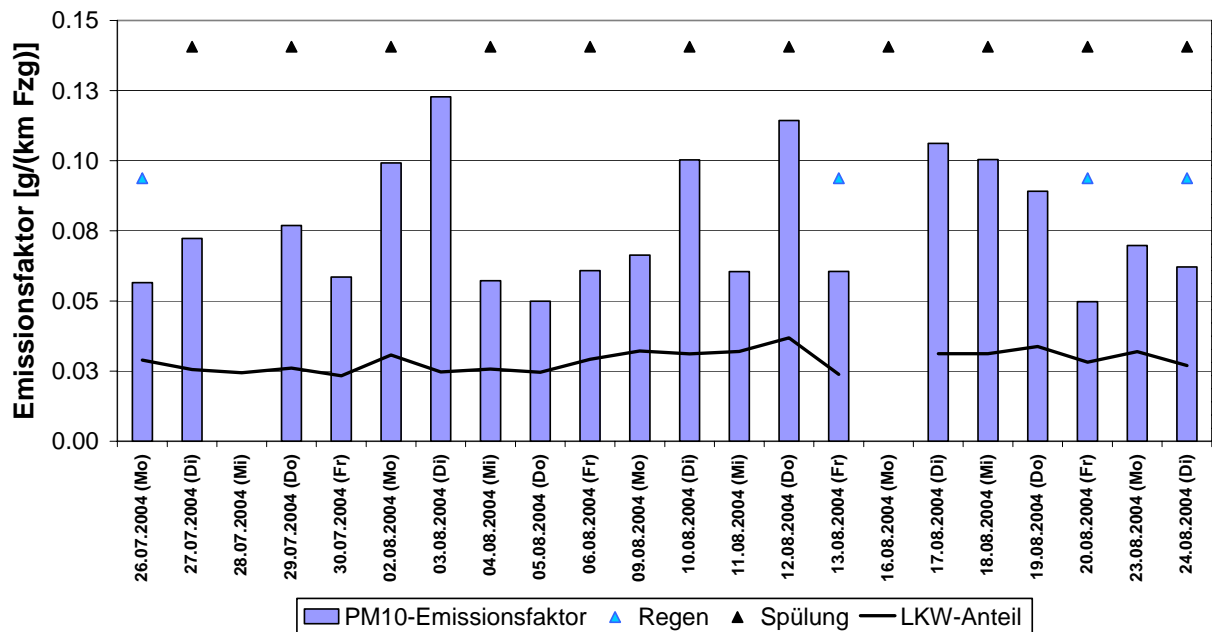


Abb. 4.3: Mittels NO_x-Tracermethode bestimmte PM10-Emissionsfaktoren (Tagesmittel)

Mittelwert der PM10-Efaktoren an der Frankfurter Allee für die Werktage ermittelt mit NO_x-Tracermethode, Trockenperiode

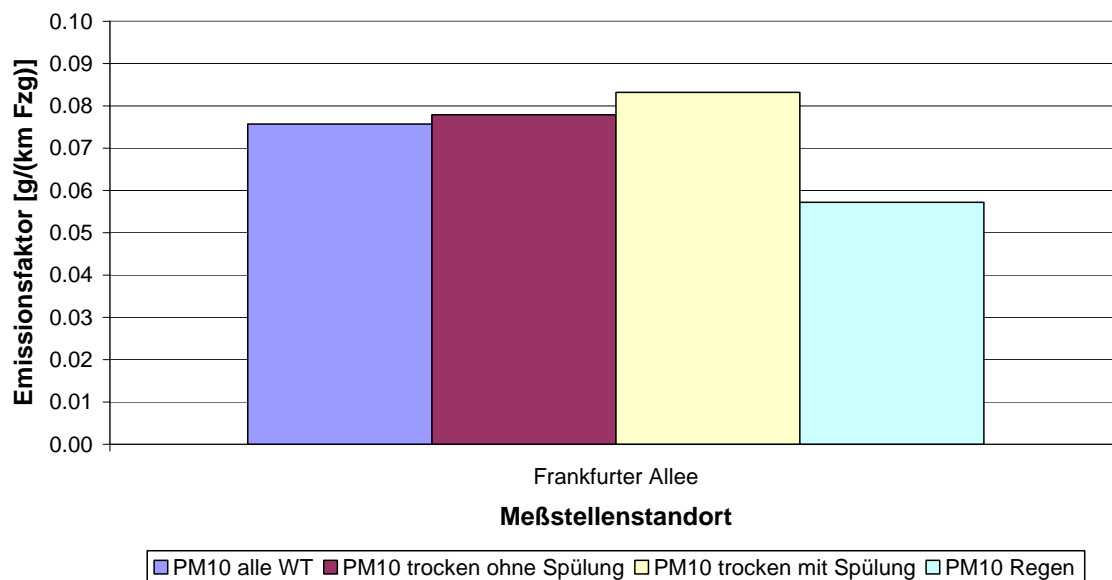


Abb. 4.4: Ergebnis der statistischen Auswertung der mittels NO_x-Tracermethode bestimmten PM10-Emissionsfaktoren (Tagesmittel) im Auswertzeitraum 26.07. bis 24.08.04

Fazit für diese Trockenperiode:

An der Frankfurter Allee ist auch in der Trockenperiode weder in den PM10-Gesamtbelastungen noch in den PM10-Zusatzbelastungen ein relevanter Unterschied zwischen den trockenen Werktagen mit Spülung und ohne Spülung festzustellen. Dagegen sinkt die Gesamtbelastung in der Frankfurter Allee an Regentagen deutlich ab, die Zusatzbelastung (unter Verwendung der Nansenstraße als Vorbelastungsmessstelle) sinkt dort geringfügig, an der Schildhornstraße deutlich ab.

Die abgeleiteten PM10-Emissionsfaktoren (zur Kompensation des Einflusses von unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen und Verkehrsstärken) zeigen keinen relevanten Unterschied zwischen den Tagen mit und ohne Straßenspülung aber eine signifikante Abnahme an den Tagen mit Regen.

Es kann also insgesamt kein signifikanter Unterschied zwischen den trockenen Werktagen mit und ohne Spülung festgestellt werden.

5 STATISTISCHE KENNGRÖSSEN FÜR DEN AUSWERTEZEITRAUM

Im Folgenden werden ergänzend zu den bisherigen detaillierten Auswertungen für die Werktage (Montag bis Freitag) die statistischen Kenngrößen getrennt für alle Tage mit bzw. alle Tage ohne Spülung (unabhängig von Regenereignissen oder vom Wochentag) aufgeführt. Diese Daten sind in der **Tab. 5.1** dargestellt.

Kenngrößen	Frankfurter Allee	Schildhornstraße	Meißbus Karl-Marx-Allee	Nansenstraße	Regionale Vorbelastung
PM10-Mittelwert-GB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	28.9	28.6	24.9	20.5	13.5
PM10-Mittelwert-ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	8.4	8.1	4.4		
NOx-Mittelwert-GB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	101.3	154.2	74.1	35.4	9.3
NOx-Mittelwert-ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	65.9	118.8	38.7		
PM10-Mittelwert-GB ohne Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	27.9	27.8	24.6	20.5	13.6
NOx-Mittelwert-GB ohne Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	92.9	142.1	71.2	34.4	9.0
PM10-Mittelwert-GB mit Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	30.2	29.7	25.3	20.4	13.2
NOx-Mittelwert-GB mit Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	112.5	170.9	78.1	36.8	9.7
PM10-Mittelwert-ZB ohne Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	7.4	7.3	4.1		
NOx-Mittelwert-ZB ohne Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	58.6	107.7	36.8		
PM10-Mittelwert-ZB mit Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	9.8	9.3	4.9		
NOx-Mittelwert-ZB mit Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	75.6	134.0	41.2		
Verhältnis PM10/NOx-Mittelwert-ZB ohne Spülung	0.127	0.068	0.110		
Verhältnis PM10/NOx-Mittelwert-ZB mit Spülung	0.130	0.069	0.119		
PM10-Emissionsfaktor [g/(km Fzg)]	0.084				
PM10-Emissionsfaktor ohne Spülung [g/(km Fzg)]	0.085				
PM10-Emissionsfaktor mit Spülung [g/(km Fzg)]	0.083				

Tab. 5.1: Kenngrößen der PM10- und NO_x-Konzentrationen bzw. der mittels NO_x-Tracermethode abgeleiteten PM10-Emissionsfaktoren für den gesamten Auswertzeitraum

Hier ist zu erkennen, dass für die Tage mit Straßenspülung sowohl die PM10- als auch die NO_x-Gesamtelastungen für alle Straßenstationen höher sind. Der NO_x- und PM10-Verkehrsbeitrag ist gleichermaßen an **allen** Verkehrstationen ca. 20 % bis 30 % höher an Tagen mit Spülung als an Tagen ohne Spülung. Dies weist auf meteorologische Einflüsse als Ursache hin.

Das Verhältnis der PM10- zu NO_x-Verkehrsbeiträge ist deshalb für die Tage mit und ohne Spülung etwa gleich. Auch der abgeleitete PM10-Emissionsfaktor unterscheidet sich an Tagen mit Spülung nicht wesentlich von dem für Tage ohne Spülung.

Die Straßenspülungen zeigen, wie bereits bei der alleinigen Betrachtung der Werktage, auch hier keinen relevanten Effekt.

Um auszuschließen, dass ein möglicher Minderungseffekt nur deswegen nicht erkannt wird, weil bei einem Spülrhythmus von durchschnittlich zwei Tagen der Minderungseffekt bis in

den nächst trockensten Tag ohne Spülung hineinreicht, wurde folgende Abschätzung durchgeführt:

Die Emissions- und Ausbreitungsbedingungen an der Frankfurter Allee sind vergleichbar mit denen an der Schildhornstraße (Ausrichtung der Straßenschlucht, Verkehrsstärken, Verkehrsfluss etc). Dies äußert sich z. B. darin, dass die PM10-Belastungen über längere Zeiträume voneinander nur gering abweichen. Die Differenzen der Jahresmittelwerte zwischen Frankfurter Allee und Schildhornstraße betragen z. B. in den Jahren 2000 bis 2003, also in den Jahren ohne Straßenspülungen jeweils ca. $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (**Tab. 5.2**). Im Vergleich dazu lagen die NO_x -Jahresmittelwerte in der Schildhornstraße in den Jahren 2000 bis 2003 ca. 47 bis $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ höher als in der Frankfurter Allee.

Zeitraum/ Schadstoff	Frankfurter Allee PM10/ NO_x	Schildhornstraße PM10/ NO_x	Differenz PM10/ NO_x
2000	37/ 117	35/ 164	2/ -47
2001	35/ 121	33/ 172	2/ -51
2002	40/ 105	38/ 160	2/ -55
2003	43/ 106	41/ 159	2/ -53
2004	34/ 106	34/ 157	0/ -51
5/04 - 10/04	29/ 101	29/ 154	0/ -53

Tab. 5.2: Jahresmittelwerte der PM10- und NO_x -Konzentrationen an den Messstellen Frankfurter Allee und Schildhornstraße für die Jahre 2000 bis 2004 sowie im Spülzeitraum Mai bis Oktober 2004. Angegeben ist weiterhin die Differenz der Konzentrationen zwischen Frankfurter Allee und Schildhornstraße. Konzentrationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Im Jahresmittel 2004 lag die Differenz der PM10-Konzentrationen zwischen Frankfurter Allee und Schildhornstraße bei ca. $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die der NO_x -Konzentrationen bei minus $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Zeitraum Mai bis Oktober 2004, in dem die Straßenspülungen stattfanden, wird eine Differenz der gemessenen PM10-Konzentrationen zwischen Frankfurter Allee und Schildhornstraße von $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt, in der o. g. Trockenperiode eine Differenz von $-0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, d. h. die PM10-Konzentrationen an der Frankfurter Allee waren sogar niedriger als an der Schildhornstraße.

Im Auswertzeitraum wird somit eine Abnahme dieser PM10-Differenzkonzentrationen (Frankfurter Allee minus Schildhornstraße) von ca. $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ auf ca. $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beobachtet, wäh-

rend die NO_x-Differenzkonzentrationen im Jahr 2004 keine Auffälligkeit relativ zu den Jahren 2000 bis 2003 zeigten. Der Effekt beim PM10 kann meteorologisch bedingt sein (eventuell liegen hier andere Bedingungen durch den lufthygienisch eher günstigen Auswertzeitraum im Jahr 2004 gegenüber den vorhergehenden Jahren vor), durch Veränderungen in der Emissionsstruktur hervorgerufen worden sein (z. B. durch die Abnahme von heizungsbedingten Partikel-Emissionen im Bereich der Frankfurter Allee) aber auch durch die Straßenspülungen bedingt sein.

Schreibt man diese Abnahme der PM10-Konzentrationen in der Frankfurter Allee relativ zur Schildhornstraße allein der Straßenspülung zu, so wäre daraus eine Reduktion der Gesamtbelastung in der Frankfurter Allee durch die Straßenspülung von maximal ca. 7 % abzuschätzen.

Da die Straßenspülung nur Auswirkungen auf den Verkehrsbeitrag der Frankfurter Allee haben kann, dieser im Auswertzeitraum allerdings nur einen Anteil von ca. 30 % an der Gesamtbelastung aufweist, wäre bei o.g. Annahme als maximale Minderung auf den PM10-Verkehrsbeitrag ein Wert von ca. 20 % abzuschätzen. Dieser Wert ist aus o. g. Gründen jedoch mit großen Unsicherheiten behaftet.

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN DATENAUSWERTUNGEN

In den Datenauswertungen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den trockenen Werktagen mit und ohne Spülung festgestellt werden. Die PM10-Gesamtbelastungen in der Frankfurter Allee zeigen im Vergleich der trockenen Werktage ohne und mit Spülung keine Reduktion (eher höhere Belastungen), ebenso im PM10-Verkehrsbeitrag. Um verkehrliche und meteorologische Schwankungen bei diesen Tagen soweit möglich auszugleichen wurden mittels NO_x-Tracermethode PM10-Emissionsfaktoren abgeleitet. Diese Emissionsfaktoren zeigen in der Tendenz für die trockenen Werktage mit Straßenspülung ca. 6 % geringere Werte als an trockenen Werktagen ohne Spülung. Dies liegt damit innerhalb der Bandbreite des zu erwartenden Fehlers dieser Bestimmungsmethode, welcher mit max. +/-24 % abgeschätzt wurde¹. Der Vergleich der PM10-Gesamtbelastungen Frankfurter Allee und Schildhornstraße könnte auf eine maximale Minderung der PM10-Gesamtbelastung in der Frankfurter Allee durch die Straßenspülungen von ca. 7 % hinweisen. Dieser Wert ist allerdings mit großen Unsicherheiten behaftet.

Wenn überhaupt ein Minderungseffekt durch Straßenspülungen vorliegt, dann liegt dieser entsprechend der durchgeführten Auswertungen im Bereich der natürlichen Variationen der Konzentrationen bzw. im Bereich der Unsicherheiten bei der Bestimmung der Zusatzbelastung bzw. der Ableitung von PM10-Emissionsfaktoren.

Die regelmäßige Straßenspülung in der Frankfurter Allee lieferte somit nicht den erhofften Minderungseffekt auf die PM10-Belastungen. Im Folgenden soll deshalb eine Abschätzung des maximal zu erwartenden Effektes anhand der Daten des Messzeitraumes vorgenommen werden:

Die im Messzeitraum in der Frankfurter Allee festgestellte PM10-Gesamtbelastung betrug 29 µg/m³. Die Vorbelastung (abgeschätzt durch die Konzentrationen an der Nansenstraße) lag im gleichen Zeitraum bei ca. 21 µg/m³. Der PM10-Verkehrsbeitrag lag somit, wie oben bereits genannt, bei ca. 8 µg/m³ (entspricht ca. 30 % der Gesamtbelastung). Der PM10-Ver-

¹ Im Rahmen einer Sensitivitätsbetrachtung wurden dazu die mittleren Verkehrsstärken, die mittleren Vorbelastungen und die NO_x-Emissionsfaktoren voneinander unabhängig um jeweils +/-10% variiert und deren Einfluss auf den abgeleiteten mittleren PM10-Emissionsfaktor bestimmt. Die größten Unsicherheiten bei der Bestimmung des PM10-Emissionsfaktors tragen dabei die PM10-Vorbelastungen bei.

kehrsbeitrag setzt sich aus Auspuffemissionen und Emissionen infolge Abrießen/Aufwirbelung zusammen.

Für die Auspuffpartikel liefert das HBEFA 2.1 für die angesetzte Verkehrssituation LSA2 für das Bezugsjahr 2004 folgende Emissionsfaktoren:

PKW inkl. LNF:	0.012 g PM10/(km · Fzg)
LKW:	0.375 g PM10/(km · Fzg)

Mit diesen Partikelemissionsfaktoren können bei den im Messzeitraum vorliegenden Verkehrsmengen und LKW-Anteilen nur ca. 30 % der abgeleiteten PM10-Emissionen erklärt werden, ca. 70 % müssen somit den nicht auspuffbedingten Emissionen zugeordnet werden. Dies wäre etwas mehr, als durch Rauterberg-Wulff (2000) abgeleitet (dort im Bezugsjahr 1999 ca. 64 %). Der nicht auspuffbedingte PM10-Verkehrsbeitrag in der Frankfurter Allee liegt somit bei ca. $0.7 \times 8 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Falls der Spüleffekt mindestens einen Tag anhalten sollte und durch die Spülung diese Emissionen zu 100 % reduziert werden könnten, dann wäre unter Beachtung eines nur aller zwei Tage stattgefundenen Spülens eine absolute Minderung von ca. $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. eine relative Minderung der PM10-Gesamtbelastung um ca. 10 % sowie des Verkehrsbeitrages um ca. 35 % abzuschätzen. Diese theoretischen Minderungspotenziale liegen in der Größenordnung des durch den Immissionsvergleich Frankfurter Allee zu Schildhornstraße abgeschätzten, aber deutlich höher als durch den Vergleich der Emissionsfaktoren für trockene Werkstage mit und ohne Spülung abgeleitet.

Das maximale Minderungspotenzial läge bei der Annahme eines länger als einen Tag anhaltenden positiven „Feuchteffekts“ unter Voraussetzung, dass die Aufteilung Auspuff- zu Nichtauspuffemissionen richtig wiedergegeben wird, bei ca. 20 % in der Gesamtbelastung bzw. ca. 70 % im Verkehrsbeitrag. Dies konnte anhand der Datenauswertung nicht beobachtet werden.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Im Zeitraum 10. Mai bis 10. Oktober 2004 fanden in Berlin in der Frankfurter Allee zwischen Proskauer Straße und Möllendorfstraße regelmäßige Straßenspülungen statt. Hierbei wurde in einem Rhythmus von zwei Tagen im Allgemeinen werktags 2-mal (morgens zwischen 5.30 Uhr und 6.00 Uhr sowie nachmittags zwischen 14.00 Uhr und 14.30 Uhr) und samstags 1-mal (zwischen 10.00 Uhr und 11.00 Uhr) die Straße mit einem Kübelfahrzeug abgespült. Diese Kübelfahrzeuge sind so ausgestattet, dass sie mit einem kurz oberhalb der Fahrbahn am Vorderteil des Fahrzeuges angebrachten Rohr die Straße mit einem Wasserstrahl abspülen und zusätzlich über die gesamte Fahrzeugbreite die Straße berieseln. Es wurden immer alle Fahrstreifen gespült. Bei regennasser Fahrbahn zum Termin in der vorgegebenen Spülung konnte die Spülung zu diesem Termin entfallen. Insgesamt wurde an 65 der 161 Tage im Auswertzeitraum die Straße gespült.

Visuelle Einschätzungen der Situationen vor, während und nach den Straßenspülungen zeigten, dass durch die Spülung ein deutlicher Wasser- und teilweise auch Materialfluss in Richtung Rinnstein und von dort zum nächstliegenden Gully stattfand. Dieser Transport hielt allerdings nur kurzzeitig (wenige Minuten) an. Die Straße selbst blieb nach der Spülung noch ca. eine bis drei Stunden (je nach Temperatur, Sonneneinstrahlung und Verkehrsdichte) feucht.

Für eine Datenanalyse standen kontinuierliche (½h-Mittelwerte) PM10- (Beta-Staubmeter) und NO_x-Immissionsdaten des BLUME-Messnetzes für den Projektzeitraum zur Verfügung. Ergebnisse einer temporäre PM10-Messung an der Bänischstraße (Hintergrundmessstelle) lagen ebenfalls vor.

Weiterhin wurden kontinuierliche Verkehrszählungen getrennt nach PKW und LKW sowie differenziert nach den Fahrstreifen für die Frankfurter Allee durch die Verkehrsmanagementzentrale (VMZ) bereitgestellt. Diese Daten wurden mittels aus manuellen Zählungen ermittelten Faktoren der Fa. Kommunal Data korrigiert. Die Verkehrsstärken lagen demnach im Wochenmittel bei 60 200 Kfz/d. Der LKW-Anteil >3.5 t lag bei 2.6 % und damit niedriger als in bisherigen Untersuchungen angegeben. Im Messzeitraum waren keine größeren Auffälligkeiten in den Verkehrsstärken zu verzeichnen gewesen. Im Juli und Anfang August 2004 wurden wegen der Ferien tendenziell weniger Fahrzeuge gezählt. Auch die Anzahl von LKW zeigt kaum Auffälligkeiten. Nur Ende Mai sowie Mitte bis Ende August 2004 ist ein etwas

höherer LKW-Anteil festgestellt worden als in der anderen Auswertezeit. Die tagesmittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten lagen bei ca. 28 km/h.

Niederschlagsdaten wurden anhand der Angaben zur Station Berlin-Tempelhof abgeleitet. Im Auswertezeitraum zwischen 10.05. und 11.10.04 hat es an der Station Tempelhof an 63 der 161 Tage geregnet. Die Regenhäufigkeit lag somit im Mittel bezogen auf den gesamten Messzeitraum bei 39 %. Dabei war es etwa bis Ende Juli sehr feucht, im Zeitraum August bis Oktober kamen auch „Trockenperioden“ vor.

Aus den PM₁₀- und NO_x-Gesamtbelastungen an der Station Frankfurter Allee, den Hintergrundkonzentrationen an der Nansenstraße, den aus den vorliegenden Verkehrsbelegungen ermittelbaren NO_x-Emissionen wurden mittels NO_x-Tracermethode tagesmittlere PM₁₀-Emissionsfaktoren bestimmt. Die tagesmittleren PM₁₀-Konzentrationen der Gesamtbelastung, der PM₁₀-Zusatzbelastung und der abgeleiteten PM₁₀-Emissionsfaktoren wurden zunächst einer Analyse getrennt nach trockenen Werktagen ohne Straßenspülung, trockene Werktage mit Straßenspülung sowie Regentage unterzogen. Die Beschränkung auf die Werktage wurde deshalb gewählt, weil hier die Emissionsbedingungen durch vergleichbare Verkehrsströme geprägt sind und der Verkehrsbeitrag und damit die Messgenauigkeit werktags höher als am Wochenende ist.

Die PM₁₀-Gesamtbelastungen im Auswertezeitraum betragen in der Frankfurter Allee 28.9 µg/m³, in der Schildhornstraße 28.6 µg/m³, in der Karl-Marx-Allee 24.9 µg/m³ und in der Nansenstraße (städtischer Hintergrund) 20.5 µg/m³.

Diese statistische Auswertung der tagesmittleren Konzentrationen nach den Kriterien „alle Werktage (Montag bis Freitag)“, „trockener Werktag ohne Spülung“, „trockener Werktag mit Spülung“ sowie „Werktag mit Regen“ zeigt folgendes:

- Die PM₁₀-Gesamtbelastung an trockenen Werktagen mit Straßenspülung unterscheidet sich an der Frankfurter Allee nicht relevant von der PM₁₀-Konzentration an trockenen Werktagen ohne Straßenspülung. Im Auswertezeitraum Mai bis Oktober ist sogar an Werktagen mit Spülung eine geringfügig höhere PM₁₀-Konzentration zu verzeichnen als an trockenen Tagen ohne Spülung. Dies gilt allerdings auch für den Messbus in der Karl-Marx-Allee, in der keine Spülmaßnahmen stattgefunden haben. An der Schildhornstraße liegen die PM₁₀-Konzentrationen an Werktagen mit Spülungen auf dem Niveau der Tage ohne Spülung. Die PM₁₀-Hintergrundkonzentrationen (Nansenstraße und regionaler Hintergrund) zeigen wie auch bei der Schild-

hornstraße keinen relevanten Unterschied für die Werktage mit bzw. ohne Spülung. Die Konzentrationsunterschiede in der Frankfurter Allee und der Karl-Marx-Allee sind somit nicht durch unterschiedliche Vorbelastungen bedingt.

- Werktage mit Regen zeigen an allen drei Verkehrsmessstationen (ca. 10 % an Frankfurter Allee und Schildhornstraße, ca. 20 % an Karl-Marx-Allee) geringere PM10-Gesamtbelastungen als an den trockenen Tagen. Die Reduktionen durch Regen an der Frankfurter Allee und der Schildhornstraße können durch die Reduktionen in der städtischen Hintergrundbelastung erklärt werden. In der Karl-Marx-Allee scheinen wegen der dortigen anderen Bbauungsstruktur noch Ausbreitungseffekte eine Rolle zu spielen.
- Der PM10-Verkehrsbeitrag zeigt an trockenen Tagen ohne Spülung ebenfalls keine relevanten Unterschiede zu den trockenen Tagen mit Spülung. Dies gilt sowohl für die Frankfurter Allee als auch für die Schildhornstraße. An der Karl-Marx-Allee sind an Tagen ohne Spülung deutlich geringere PM10-Zusatzbelastungen gemessen wurden als an Tagen mit Spülung. Allerdings ist die Zusatzbelastung hier auf einem sehr geringen Niveau. An trockenen Werktagen mit Straßenspülung zeigen sich im Auswertzeitraum somit in der Frankfurter Allee in der Gesamtbelastung und in der Zusatzbelastung keine geringeren (sondern eher geringfügig höhere) PM10-Konzentrationen als an trockenen Werktagen ohne Spülung.
- Mittels NO_x-Tracermethode wurde ein mittlerer PM10-Emissionsfaktor von 0.084 g/(km · Fzg) abgeleitet. Zugrunde gelegt wurden dabei anhand der Situation vor Ort sowie der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit die Verkehrssituation LSA2 (Lichtsignalanlage mittlere Störungen). Die abgeleiteten PM10-Emissionsfaktoren zeigen in der Tendenz für die trockenen Werktage mit Straßenspülung ca. 6 % geringere Werte als an trockenen Werktagen ohne Spülung. An Werktagen mit Regen liegen die Emissionsfaktoren ca. 8 % niedriger als an trockenen Tagen ohne Spülung. Beides liegt innerhalb der Bandbreite des zu erwartenden Fehlers dieser Bestimmungsmethode.

Die Auswertung einer „Trockenperiode“ (26.07. bis 24.08.04) lieferte keine grundsätzlich anderen Aussagen als für den Gesamtzeitraum. Ebenso nicht der Vergleich aller Tage mit und ohne Spülung im Auswertzeitraum.

Um auszuschließen, dass ein möglicher Minderungseffekt nur deswegen nicht erkannt wird, weil bei einem Spülrhythmus von durchschnittlich zwei Tagen der Minderungseffekt bis in den nächst trockensten Tag ohne Spülung hineinreicht, wurde ein Vergleich der Konzentrationen zwischen Frankfurter Allee und Schildhornstraße durchgeführt. Dieser Vergleich könnte auf eine maximale Minderung der PM10-Gesamtbelastung in der Frankfurter Allee durch die Straßenspülungen von ca. 7 % hinweisen. Dieser Wert ist allerdings mit großen Unsicherheiten behaftet.

Wenn überhaupt ein Minderungseffekt durch Straßenspülungen vorliegt, dann liegt dieser entsprechend der durchgeführten Auswertungen im Bereich der natürlichen Variationen der Konzentrationen bzw. im Bereich der Unsicherheiten bei der Bestimmung der Zusatzbelastung bzw. der Ableitung von PM10-Emissionsfaktoren.

Die regelmäßige Straßenspülung in der Frankfurter Allee lieferte somit nicht den erhofften deutlichen Minderungseffekt auf die PM10-Belastungen.

8 LITERATUR

- IVU (2003): Ursachenanalyse von Feinstaub (PM10)-Immissionen in Berlin unter Berücksichtigung von Messungen der Staubinhaltsstoffe am Stadtrand, in der Innenstadt und in einer Straßenschlucht. Projektbericht IVU Umwelt GmbH Sexau, November 2003.
- Kommunal Data (2004): Verkehrszählungen zur Bestimmung der Flottenanteile. Projektbericht im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin. Juni 2004.
- Lohmeyer (2001): Validierung von PM10-Immissionsberechnung im Nahbereich von Straßen und Quantifizierung der Feinstaubausbildung von Straßen – Schildhornstraße in Berlin. Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer, Radebeul. Projekt 2238B, April 2001. Gutachten im Auftrag von: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin
- Rauterberg-Wulff, A. (2000): Untersuchungen über die Bedeutung der Staubaufwirbelung für die PM10-Immission an einer Hauptverkehrsstraße. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie. TU Berlin. Januar 2000
- Reichenbacher, W. (2004): Einfluss des Abspülens der Frankfurter Allee auf die Minderung der Feinstaub-Konzentrationen in der Umgebung. Kurzbericht zum Vorversuch. 9.1.2004.
- UBA (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1/April 2004. Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS AG Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg. Hrsg: Umweltbundesamt Berlin.