

**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 BLUES WÄHREND DER
ABSPÜLMASSNAHME IM BEREICH DER
MESSSTATION NEUENLANDER
STRASSE IN BREMEN**

Auftraggeber: Senator für Bau, Umwelt und Verkehr
Ansgaritorstraße 2
28195 Bremen

Dr. rer. nat. I. Düring
L. Zippack

Dr.-Ing. A. Lohmeyer

Dezember 2005
Projekt 70251-05-10
Berichtsumfang 47 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 Hintergrundbelastung	13
	3.3 Tagesmittelwerte der PM10-Gesamt- und Zusatzbelastungen.....	18
	3.4 Einfluss der Spülungen auf die PM10-Konzentrationen	22
	3.5 Einfluss der Spülungen auf die PM10-Emissionen.....	24
4	AUSWERTUNG DER KONZENTRATIONEN FÜR LEE-SITUATIONEN.....	31
5	STATISTISCHE KENNGRÖSSEN FÜR DEN AUSWERTEZEITRAUM	36
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN DATENAUSWERTUNGEN.....	37
7	ABSCHÄTZUNG DES THEORETISCH MAXIMALEN MINDERUNGSPOTENZIALS BEI GANZTÄGIGER STRASSENSPÜLUNG	39
8	ZUSAMMENFASSUNG	42
9	LITERATUR	47

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 Bremen 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 Neuenlander Straße.

Der Senator für Bau, Umwelt und Verkehr untersucht deshalb, ob die Feinstaubbelastung in Straßenschluchten von Bremen durch regelmäßiges Abspülen der Fahrbahnoberfläche zu verringern ist.

Zwischen Juni und September 2005 wurde deshalb die Fahrbahn der Neuenlander Straße zwischen Oldenburger Straße (B 75) und Kirchweg durch die Entsorgung Nord GmbH (ENO) Bremen mit einem Kübelfahrzeug regelmäßig abgespült. Ziel der vorliegend beschriebenen Datenauswertungen ist der Nachweis des Einflusses dieser Maßnahme auf die PM10-Konzentrationen in der Neuenlander Straße.

Für die Datenauswertung wurde der Zeitraum zwischen dem 05.06. und 17.09.2005 betrachtet.

2 AUSGANGSDATEN

2.1 Untersuchungsbereich

Die vom Senator für Bau, Umwelt und Verkehr organisierten Straßenspülungen fanden in der Neuenlander Straße zwischen Oldenburger Straße (B 75) und Kirchweg statt. Die in Nordwest-Südost-Richtung verlaufende Neuenlander Straße ist als Straße mit je zwei Fahrstreifen pro Fahrtrichtung und einem durchschnittlichen täglichen Verkehrsaufkommen von etwa 41 000 bis 49 000 Kfz/d eine wichtige Verkehrsverbindung im Südteil Bremens. Die **Abb. 2.1** vermittelt einen fotografischen Eindruck dieser Straße im Bereich des BLUES-Messcontainers, der sich im Rückstaubereich der Ampelanlage auf dem Seitenstreifen (6 m neben Fahrbahnrand) in der Nähe der Kreuzung Langemarckstraße/Duckwitzstraße befindet.



Abb. 2.1: Blick in die Neuenlander Straße in Richtung Südost. Im linken Teil des Bildes (roter Kreis) ist der BLUES-Messcontainer zu sehen (Senator für Bau, Umwelt und Verkehr, 2005d); Stand: 01.11.2005

Zwischen dem Fußgängerweg und der Fahrbahn befinden sich in regelmäßigen Abständen Parkbuchten. Die Randbebauung besteht aus Wohn- und Geschäftshäusern von etwa 15 m Höhe und einem Abstand der gegenüberliegenden Häuserblocks von ca. 50 m. Der Fahrbahnbelag der Straße besteht aus Asphalt. Der Fußweg sowie die Parkbuchten sind mit Betonsteinen gepflastert. Zwischen den Parkbuchten sind Bäume gepflanzt.

Im Untersuchungszeitraum war ein großer Teil der Rechtsabbiegerspur direkt vor dem Messcontainer wegen Bauarbeiten gesperrt und wurde durch die Fahrzeuge nicht befahren.

2.2 Straßenspülungen

Der Senator für Bau, Umwelt und Verkehr beauftragte die Entsorgung Nord GmbH (ENO) Bremen über einen Gesamtzeitraum von 15 Wochen (05.06. bis 17.09.05) mit den Spülungen. Ein Spülfahrzeug während der Spülung bzw. beim Spültest wird in der **Abb. 2.2** gezeigt.



Abb. 2.2: Spülfahrzeug der Entsorgung Nord GmbH (ENO) Bremen beim Spülen (linkes Bild) in der Nacht vom 04.09. zum 05.09.2005 sowie beim Spültest (rechtes Bild)

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 zwei 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 vom 04.09.05 bis 05.09.05 bestätigten dieses Vorgehen (siehe z. B. **Abb. 2.3**).



Abb. 2.3: Gespülte Fahrstreifen entgegen der Fahrtrichtung am 04.09.05 gegen 22.09 Uhr

Die Straßenspülungen wurden in den Nächten vom Sonntag zum Montag, vom Dienstag zum Mittwoch sowie vom Donnerstag zum Freitag, jeweils zwischen 22.00 und 6.00 Uhr, durchgeführt. Dabei haben die Fahrzeuge jeden Fahrstreifen insgesamt 6-mal in der Zeit gespült. Bei regennasser Fahrbahn zum Termin der vorgesehenen Spülung wurde diese trotzdem durchgeführt. Die entsprechenden Termine der durchgeführten Straßenspülungen sind z. B. der **Abb. 3.6** zu entnehmen. Insgesamt wurde an 45 der 105 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**) und das im Spülzyklus zwischen 22.00 und 6.00 Uhr die Fahrbahn immer feucht war. Der Materi-

altransport hielt allerdings nur kurzzeitig (wenige Minuten) an. Die Straße selbst blieb nach der letzten Spülung am frühen Morgen noch ca. eine bis drei Stunden (je nach Temperatur, Sonneneinstrahlung und Verkehrsdichte) feucht (siehe z. B. **Abb. 2.5**).

Hinweis:

Die Rechtsabbiegerspur direkt vor dem Messcontainer war wegen Bauarbeiten gesperrt. Die Spur war im Allgemeinen sehr dreckig und wurde durch die Spülung im abgesperrten Bereich nicht gesäubert, da das Fahrzeug dort nicht hingekommen ist.



Abb. 2.4: Gully auf der Neuenlander Straße kurz nach einer Spülung am 04.09.2005



Abb. 2.5: Neuenlander Straße am 05.09.2005 gegen 8.42 Uhr, allerdings wird diese Fahrbahn wegen Sperrung nicht befahren. Die befahrenen Fahrstreifen sind bereits abgetrocknet. Am linken Bildrand ist die gesperrte Rechtsabbiegerspur vor dem Messcontainer zu sehen. Auch der nicht abgesperrte Bereich dieser Spur wurde nicht befahren.

2.3 Verkehrszählungen

Aktuelle Verkehrszählungen im Bereich des Messcontainers Neuenlander Straße liegen explizit nicht vor. Auf der Neuenlander Straße zwischen Neuenlander Ring und Kattenturmer Heerstraße (in Höhe METRO) befindet sich die Dauerzählstelle 2406 des Senator für Bau, Umwelt und Verkehr. Dort werden durch Detektoren Verkehrsstärken separat für beide Fahrtrichtungen erfasst. Durch den Auftraggeber wurden diese in bereits aufbereiteter Form für den Untersuchungszeitraum als xls-files (Stunden- und Tagesmittelwerte, getrennt nach Fahrtrichtung) zur Verfügung gestellt (Senator für Bau, Umwelt und Verkehr, 2005a). Angegeben sind die Anzahl der Kfz und des Schweren Güterverkehrs, sowie die Anzahl der einzelnen Fahrzeugarten. Zur Auswertung wurden die Fahrzeugarten in zwei Gruppen eingeteilt: Pkw inkl. LNF (Pkw, Lkw < 3.5 t und Pkw mit Anhänger) und Schwerer Güterverkehr (Lkw > 3.5 t mit und ohne Anhänger, Sattelzüge, Busse und sonstige, nicht klassifizierte Fahrzeuge).

Bei den vor Ort gemessenen Verkehrszahlen lagen keine Datenausfälle vor. Dennoch bedarf es einer Anpassung der gelieferten Verkehrszahlen, da die Werte der Dauermessstelle für

den zu untersuchenden Bereich des Messcontainers wegen der dazwischen liegenden Abbiegebeziehungen, insbesondere eines Gewerbegebietes, zu hoch sind. Nach Vorgabe des Auftraggebers (Senator für Bau, Umwelt und Verkehr, 2005b) wurden die Verkehrszahlen der Dauerzählstelle 2406 mit einem Faktor von 0.8 bei den Kfz (DTV/Kfz gesamt) bzw. bei dem Schweren Güterverkehr mit einem Faktor von 0.69 (DTV/Lkw) multipliziert, um für den Bereich der Dauermessstelle Neuenlander Straße repräsentativ zu sein. Diese Anpassung wurde aus parallelen Zählungen am Messcontainer und der Dauerzählstelle im Jahr 1999 abgeleitet.

2.4 Immissionsdaten

Vom Auftraggeber wurden die Luftschadstoffkonzentrationen von NO, NO₂ und PM10 des BLUES-Messnetzes zur Verfügung gestellt. Für die Auswertung werden explizit die Werte folgender Stationen ausgewertet:

Messcontainer Neuenlander Straße (Straße mit Straßenspülungen), Messcontainer Dobbenweg (Straße ohne Straßenspülung), Theodor-Heuss-Allee / Bremen-Mitte, Osterholzer Heerstraße / Bremen-Ost und Ortstraße / Bremen-West (städtische Hintergrundstationen). Die Lage der Messstationen sind in der **Abb. 2.6** dargestellt. Ausgewertet wurden die kontinuierlichen NO_x-, ermittelt aus NO- und NO₂-, und die PM10-Konzentrationen (½-Stundenmittelwerte).

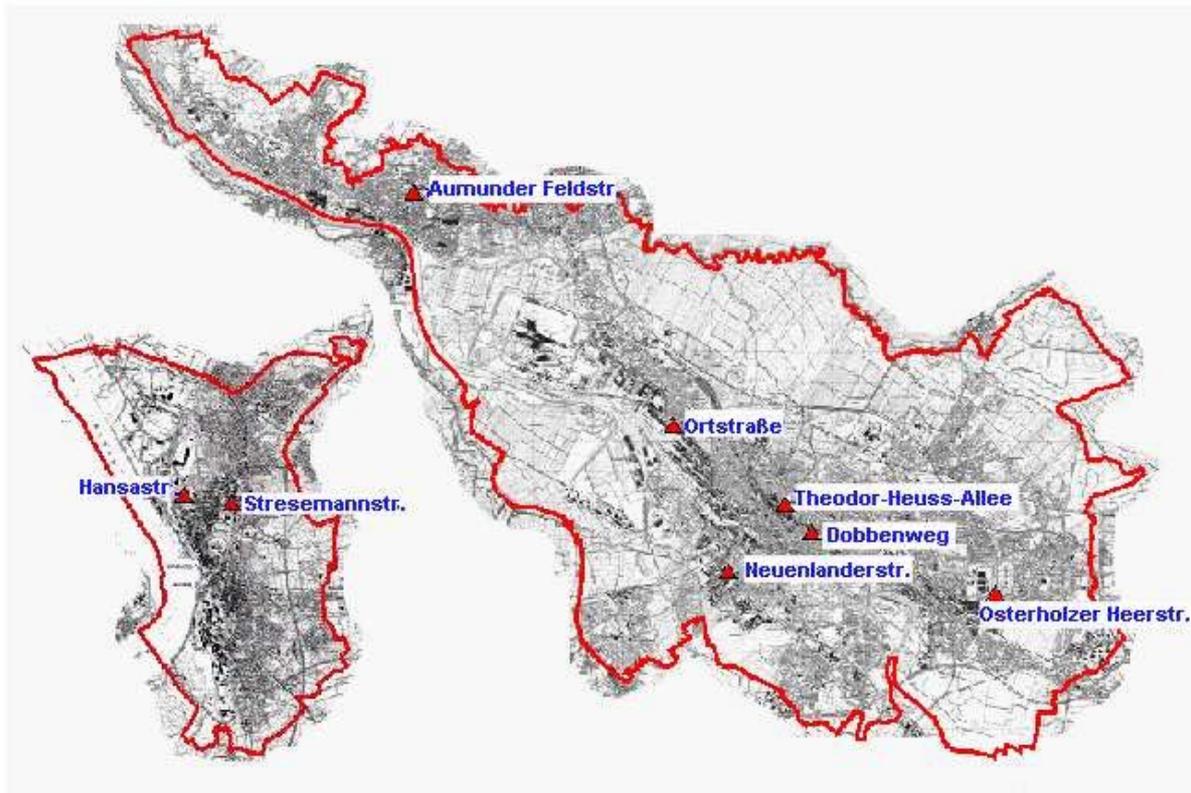


Abb. 2.6: Lage der BLUES-Messstationen (Senator für Bau, Umwelt und Verkehr, 2005c); Stand: 01.11.2005

2.5 Meteorologische Daten

Neben den o. g. Spülterminen waren die Tage zu selektieren, an denen es geregnet hatte. Entsprechend des Hinweises des Auftraggebers wurden die Angaben zum Regen von der Station Bremen-Flughafen verwendet, welche durch den Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Verfügung gestellt wurden. Die Niederschlagshöhen sind für den Untersuchungszeitraum in der **Abb. 2.7** dargestellt. Die Tage mit Regen im Auswertzeitraum sind z. B. auch in der **Abb. 3.6** markiert.

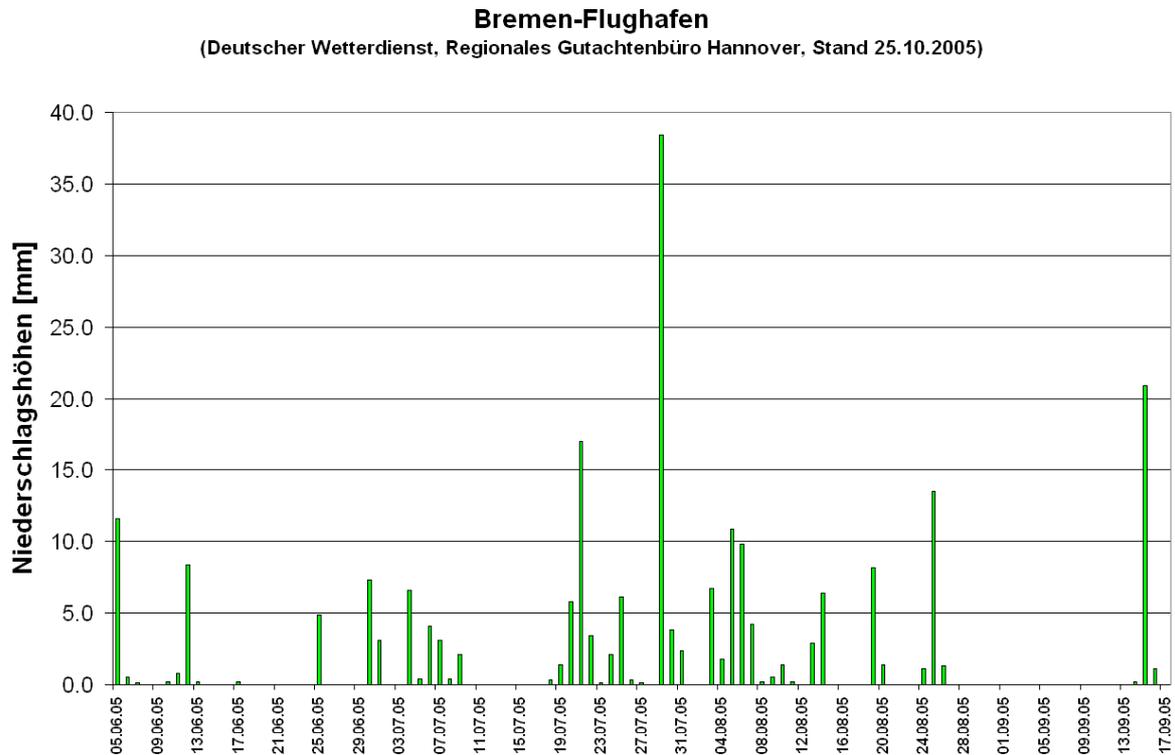


Abb. 2.7: Tage mit Regen und tägliche Niederschlagssummen für Bremen-Flughafen im Zeitraum 05.06. und 17.09.2005

Im Auswertezeitraum zwischen 05.06. und 17.09.05 hat es an der Station Bremen-Flughafen an 49 der 105 Tage geregnet. Die Regenhäufigkeit lag somit im Mittel bezogen auf den gesamten Messzeitraum bei 47 %. Dabei war es etwa Mitte Juli bis Mitte August sehr feucht.

Daten zu Wind und Temperatur wurden aus dem BLUES (Station Bremen-Mitte) übernommen. Diese Daten wurden in ca. 10 m über Grund gemessen.

3 DATENAUSWERTUNGEN DES SPÜLZEITRAUMES

3.1 Verkehrsstärken

Vom Auftraggeber wurden die Verkehrsstärken zwischen 05.06. und 17.09.05 zur Verfügung gestellt. Die abgeleiteten DTV-Werte einschließlich der im Abschnitt. 2.3 diskutierten Anpassungen über diesen Zeitraum sind in der **Abb. 3.1** aufgeführt. Die Verkehrsstärken variieren entsprechend eines Wochenganges Montag bis Freitag zwischen ca. 41 000 bis 49 000 Kfz/d bei schweren Güterverkehr-Anteilen > 3.5 t im Mittel zwischen 10 und 13 %. An Wochenenden bzw. Feiertagen sinkt die Verkehrsstärke auf ca. 25 000 bis 35 000 Kfz/d und der SV-Anteil auf ca. 2 % bis 4 % ab. Der Wochenmittelwert für den Auswertzeitraum betrug 40 500 Kfz/d bei 9.2 % SV-Anteil. Eine Woche Mitte Juni sowie Mitte Juli bis Mitte August wurden wegen der Ferien tendenziell weniger Fahrzeuge gezählt als außerhalb dieses Zeitraumes. Die Ausnahme bildet das Wochenende 30./31.07.2005, wo 5 000 Kfz/d mehr gezählt wurden. Der SV-Anteil variiert im Auswertzeitraum nur geringfügig. Nur am 23.08.2005 war er 3 % höher als im Wochengang Montag bis Freitag.

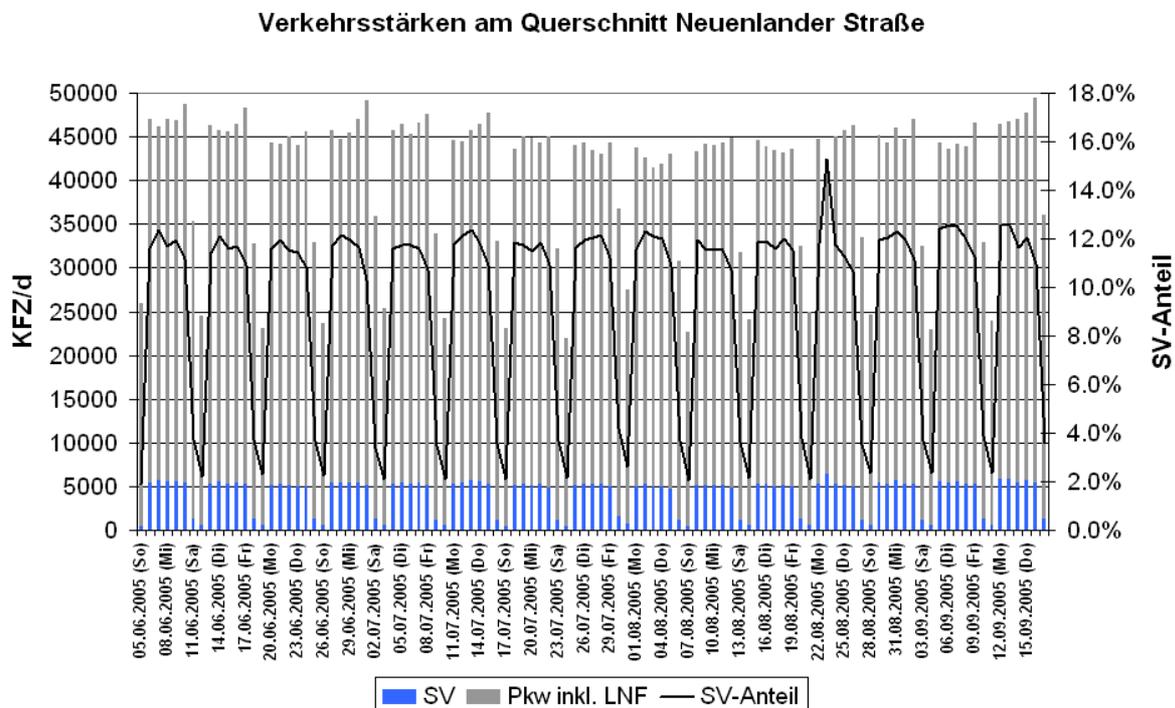


Abb. 3.1: Verkehrsstärken am Messquerschnitt Neuenlander Straße

3.2 Hintergrundbelastung

Zur möglichst genauen Bestimmung des PM₁₀- und NO_x-Verkehrseinflusses an der Neuenlander Straße werden geeignete Messdaten benötigt. Eine speziell auf die Neuenlander Straße bezogene Hintergrundmessstation liegt nicht vor. Deswegen wird geprüft, ob eine der städtischen Hintergrundmessstellen (Theodor-Heuss-Allee / Bremen-Mitte, Osterholzer Heerstraße / Bremen-Ost und Ortstraße / Bremen-West) oder eine windrichtungsabhängige Kombination deren Messdaten als Hintergrunddaten verwendet werden kann.

Dazu wurden auf Basis der ½-h-Messwerte der verschiedenen Stationen und der Windrichtung an der Station Bremen-Mitte Schadstoffwindrosen erstellt. Diese sind in den **Abb. 3.3** und **Abb. 3.4** für NO_x und PM₁₀ aufgezeigt. Zusätzlich ist die Windrichtungsverteilung an der Station Bremen-Mitte für den Auswertzeitraum aufgeführt (**Abb. 3.2**).

Es kann Folgendes festgestellt werden:

- Die Windrichtungsverteilung in Bremen-Mitte zeigt die für diese Station typische Verteilung ohne Besonderheiten (**Abb. 3.2**). Häufigste Windrichtungen waren Südwest bis nordwestliche Windrichtungen mit einem Nebenmaximum bei Südost.

**Häufigkeit der Windrichtung in Bremen-Mitte
(01.06. bis 17.09.2005)**

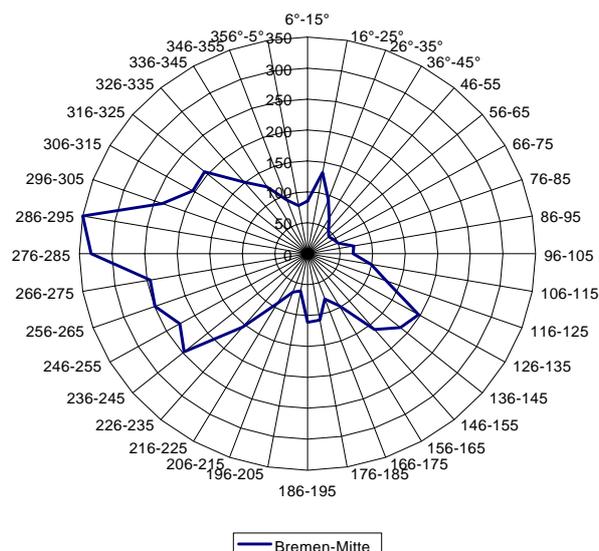


Abb. 3.2: Häufigkeit der Windrichtung in Bremen-Mitte

**Tagesmittelwerte (auf Basis Halbstundenwerte) der PM10-Belastungen
in Abhängigkeit von der Windrichtung in Bremen-Mitte
(01.06. bis 17.09.2005)**

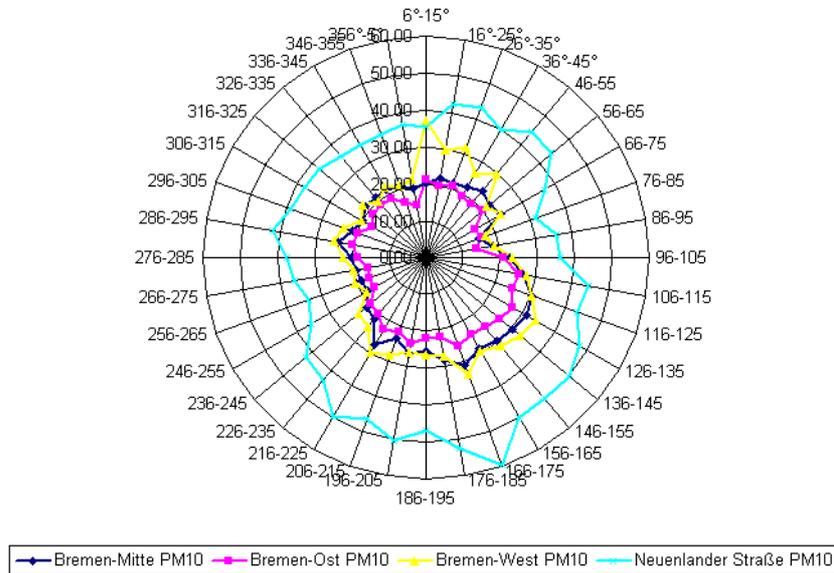


Abb. 3.3: Tagesmittelwerte der PM10-Belastungen in Abhängigkeit von der Windrichtung in Bremen-Mitte

**Tagesmittelwerte (auf Basis Halbstundenwerte) der NOx-Belastungen
in Abhängigkeit von der Windrichtung in Bremen-Mitte
(01.06. bis 17.09.2005)**

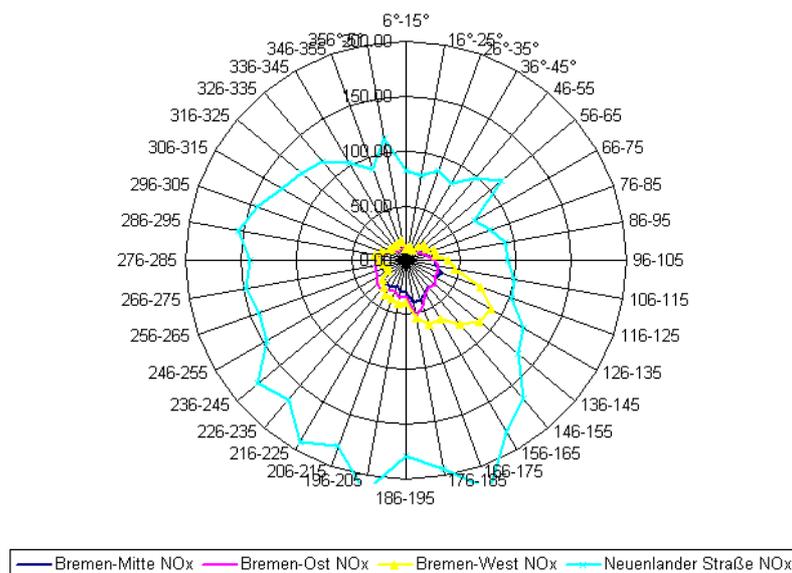


Abb. 3.4: Tagesmittelwerte der NOx-Belastungen in Abhängigkeit von der Windrichtung in Bremen-Mitte

- Die PM10-Schadstoffwindrosen (**Abb. 3.3**) für Bremen-West und Bremen-Mitte zeigen etwa gleiche Konzentrationen außer im WR-Bereich 0° bis 50°. Dort sind die Konzentrationen in Bremen-West deutlich gegenüber Bremen-Ost und Bremen-Mitte erhöht. Dies weist auf zusätzliche PM10-Emissionsquellen in diesem Wind-Sektor hin.
- Die PM10-Schadstoffwindrose für Bremen-Ost läuft etwa gleich wie die von Mitte und West, außer im WR-Bereich 110° bis 200°, dort sind die Konzentrationen niedriger. Wahrscheinlich fehlt hier der städtische Schadstoffeintrag (im Mittel ca. 5 µg/m³). Bremen-Mitte zeigt keinen relevanten Einfluss des dort befindlichen Parkplatzes bzw. Marktes, welcher regelmäßig dort stattfindet, da die Konzentrationen sich nicht relevant von denen an der Station Bremen-West unterscheiden.
- Die PM10-Belastungen an der Station Neuenlander Straße, aber auch die Differenz zwischen den Werten an der Neuenlander Straße und den städtischen Hintergrundmessstellen, sind bei Windrichtungen zwischen 130° und 220° am höchsten (= Einfluss der Neuenlander Straße). Zwischen 220° und 60° sind ebenfalls deutliche Zusatzbelastungen zu erkennen (= Einfluss Langemarckstraße und Oldenburger Straße). Bei Windrichtungen zwischen 80° und 100° sind die Differenzen zwischen Neuenlander Straße und z. B. Bremen-Ost am geringsten. Aber sie geht nicht auf Null zurück, sondern zeigt Werte um 15 - 20 µg/m³, das heißt bei diesen Windrichtungen, die nicht primär durch die beiden Hauptstraßen beeinflusst werden, gibt es relevante PM10-Einträge, die nicht durch die Hintergrundmessstellen erfasst werden.
- Bei den NO_x-Schadstoffwindrosen (**Abb. 3.4**) ist die Station Bremen-West bei Windrichtungen zwischen 90° und 180° auffällig. Hier scheint der Einfluss der Bremerhavener Straße die Werte zu beeinflussen.
- Auch die NO_x-Konzentrationen an der Messstation Neuenlander Straße zeigen deutliche Einträge durch die Neuenlander Straße und die Langemarkstraße. Wie beim PM10 gehen die NO_x-Konzentrationen bei nordöstlichen Windrichtungen nicht auf Werte der Hintergrundstationen zurück. Entweder es gibt zusätzliche Einträge nahe liegender Quellen (z. B. Bautätigkeit im Umkreis der Neuenlander Straße, Hausbrand oder auch der Einfluss der Oldenburger Straße), die nicht durch die Hintergrundmessstellen erfasst werden, oder die Strömungssituation ist so beeinflusst, dass bei einer Windrichtung in Luv der Messstelle relativ zur Neuenlander Straße durch Strö-

mungsumlenkungen doch noch Einträge von der Neuenlander- und/ oder Lange-markstraße erfasst werden.

- Bremen-West und Bremen-Ost zeigen ähnliche NO_x -Werte. In der Tendenz ist die NO_x -Konzentration in Bremen-Mitte bei westlichen Windrichtung etwas niedriger als in Bremen-Ost.
- Ein direkter Vergleich der PM_{10} -Tagesmittelwerte Osterholzer Heerstraße (Bremen-Ost) mit Theodor-Heuss-Allee (Bremen-Mitte) sowie Ortstraße (Bremen-West) mit Theodor-Heuss-Allee (Bremen-Mitte) in der **Abb. 3.5** zeigt jeweils eine gute Korrelation mit einem Anstieg nahe eins. Die Korrelation ist zwischen Bremen-Ost und Bremen-Mitte deutlich besser als zwischen Bremen-West und Bremen-Mitte.

Aus diesen diskutierten Gegebenheiten kann folgendes Fazit gezogen werden:

Es gibt keine bestehende ideale Hintergrundmessstelle für die Messstelle Neuenlander Straße. Wahrscheinlich ist die Strömungssituation so beeinflusst, dass bei Windrichtung in Luv der Messstelle relativ zur Neuenlander Straße durch Strömungsumlenkungen doch noch Einträge von der Straße erfasst werden. Oder es gibt nordöstlich der Messstelle weitere relevante PM_{10} - und NO_x -Emissionsquellen (z. B. durch Bautätigkeiten, Hausbrand etc.), die nicht durch die Hintergrundmessstellen erfasst werden.

Nach Abstimmung mit dem Auftraggeber (Senator für Bau, Umwelt und Verkehr, 2005e) wird die Messstelle Theodor-Heuss-Allee (Bremen-Mitte) als Vorbelastungsstation verwendet. Wobei durch den Auftraggeber eingeschätzt wird, dass der Anteil durch Bautätigkeiten an der Neuenlander Straße ca. 10 % der Feinstaubbelastung (4 bis 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) betragen kann.

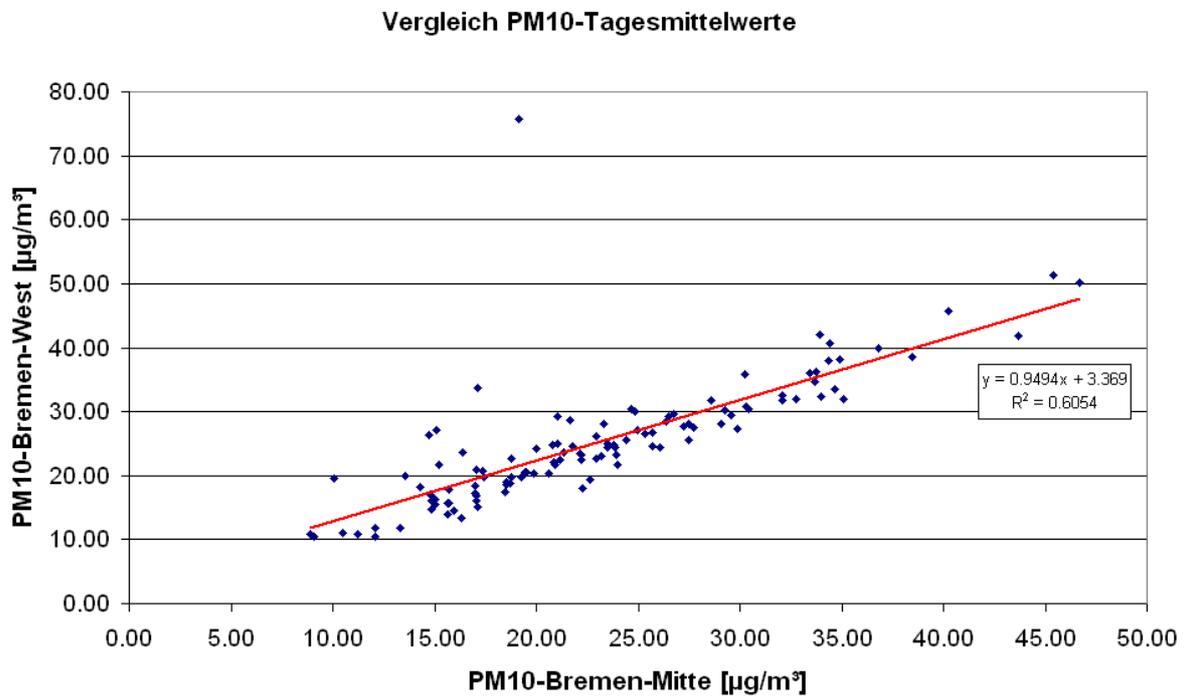
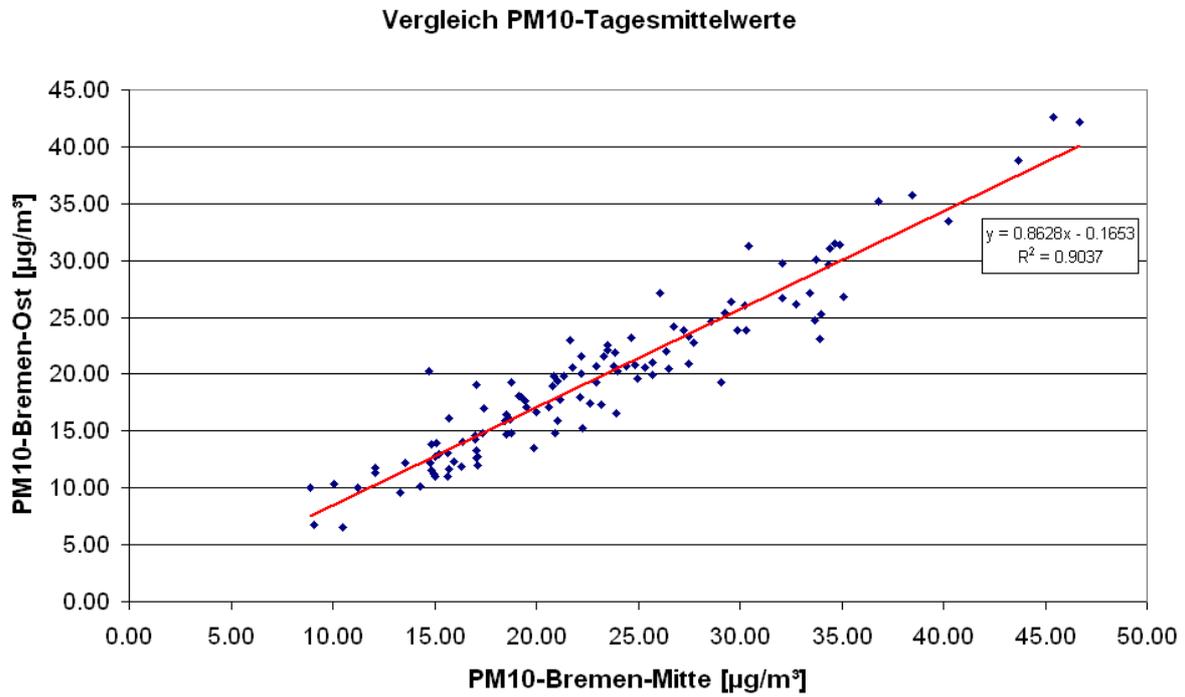


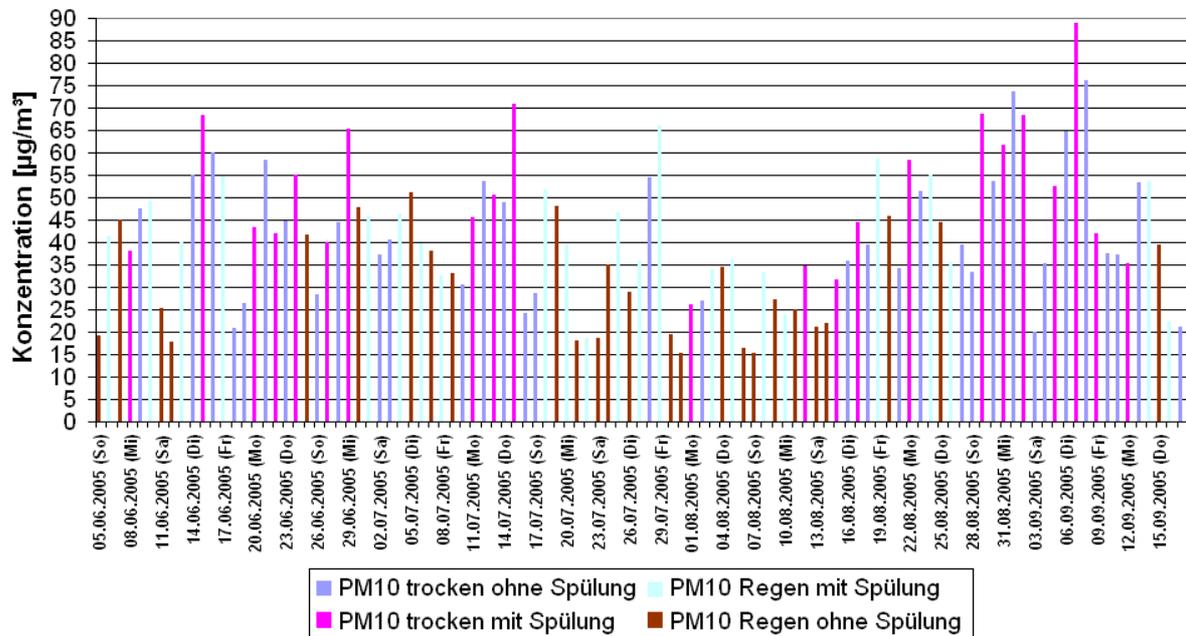
Abb. 3.5: Vergleich PM10-Tagesmittelwerte an den Stationen Bremen-Ost und Bremen-West mit Bremen-Mitte

3.3 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 Neuenlander Straße und den Dobbenweg in der **Abb. 3.6** aufgezeigt. Farblich hervorgehoben sind weiterhin die trockenen Tage ohne Straßenspülung, die trockenen Tage mit Straßenspülung sowie die Tage mit Regen der Station Bremen-Flughafen ohne und mit Straßenspülung.

Die PM10-Gesamtbelastungen als Tagesmittelwerte an der Neuenlander Straße variierten im Auswertzeitraum zwischen ca. 15 µg/m³ und 89 µg/m³. Der ab 2005 einzuhaltende Grenzwert von 50 µg/m³ wurde hier 29-mal (davon waren 7 Tage Regentage mit zum Teil starken Niederschlägen (38 mm Niederschlag/m²) an der Station Bremen-Flughafen, an 11 Tagen wurde die Neuenlander Straße gespült, sowie an 6 Tagen hat es geregnet und es wurde gespült) überschritten. Die Tagesmittelwerte am Dobbenweg lagen in der Tendenz niedriger als an der Neuenlander Straße. Sie erreichten hier Werte zwischen 8 µg/m³ und 68 µg/m³. 50 µg/m³ im Tagesmittel wurden hier dennoch im Untersuchungszeitraum 10-mal überschritten. Die Luftschadstoffbelastung an der Station Theodor-Heuss-Allee (Bremen-Mitte) (**Abb. 3.7**) ist von nahe liegenden Emittenten weitgehend unbeeinflusst und repräsentiert somit die städtische Hintergrundbelastung. Deshalb werden hier noch geringere Konzentrationen festgestellt als am Dobbenweg. Die PM10-Konzentrationen lagen hier im Auswertzeitraum zwischen 8 µg/m³ und 47 µg/m³.

Tagesmittel der PM10-Gesamtbelastung an der Neuenlander Straße



Tagesmittel der PM10-Gesamtbelastung am Dobbenweg

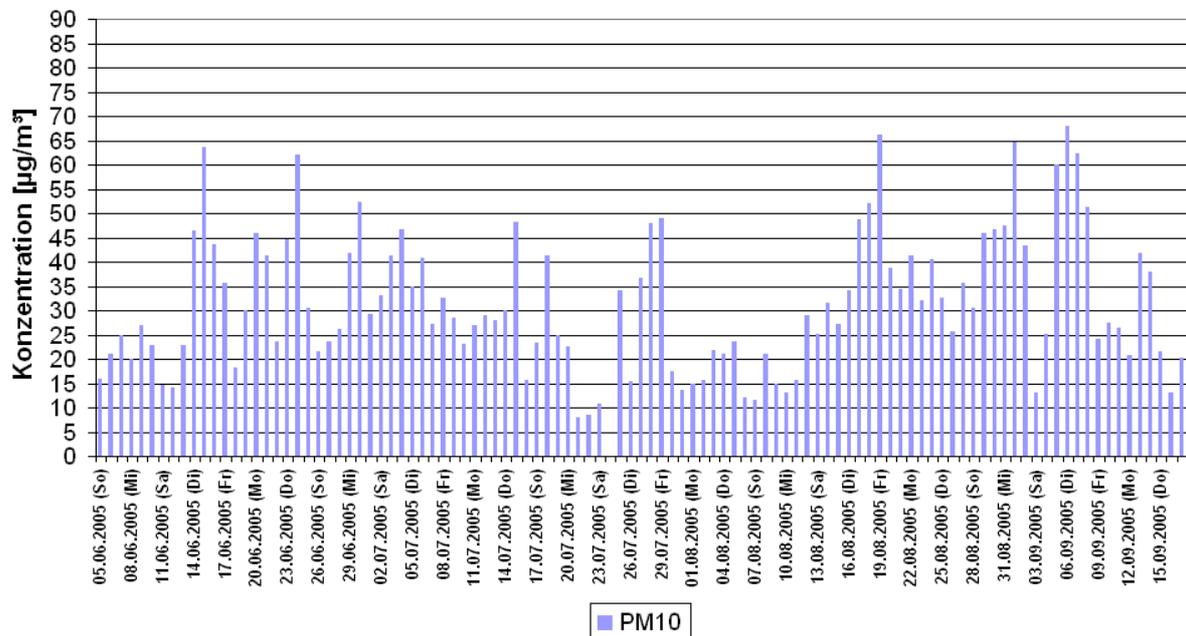


Abb. 3.6: Tagesmittelwerte der PM10-Gesamtbelastungen an der Neuenlander Straße und am Dobbenweg

Tagesmittel der PM10-Gesamtbelastung an der Theodor-Heuss-Allee (Bremen-Mitte)

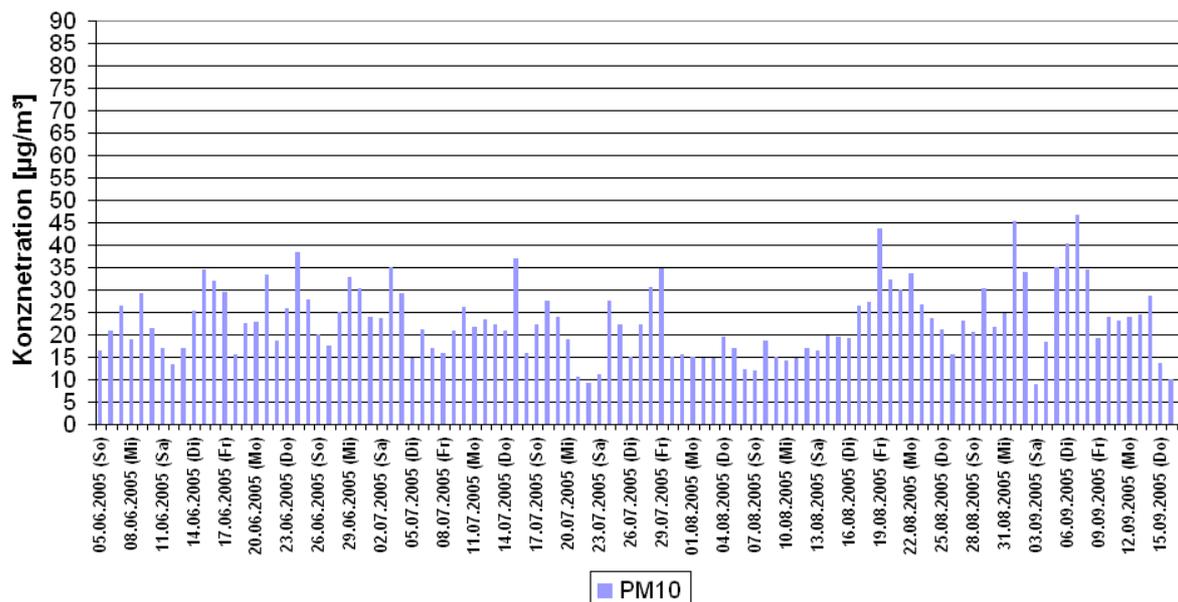


Abb. 3.7: Tagesmittelwerte an der städtischen Hintergrundmessstelle Theodor-Heuss-Allee

Die verkehrsbedingte Zusatzbelastung an den vom Straßenverkehr beeinflussten Messstellen (Neuenlander Straße und Dobbenweg) kann durch Subtraktion der Hintergrundbelastung von der Gesamtbelastung bestimmt werden. Zur Bestimmung der Hintergrundbelastung wird auf Abschnitt 3.2 Hintergrundbelastung verwiesen.

Der Verkehrsbeitrag wurde somit abgeschätzt, indem von den Gesamtbelastungen an den Verkehrsstationen (**Abb. 3.6**) die Konzentrationen der städtischen Hintergrundmessstelle Theodor-Heuss-Allee / Bremen-Mitte (siehe **Abb. 3.7**) abgezogen wurden. Diese tagesmittleren Verkehrsbeiträge sind in der **Abb. 3.8** für den Auswertzeitraum und den Schadstoff PM10 für die Neuenlander Straße und Dobbenweg dargestellt.

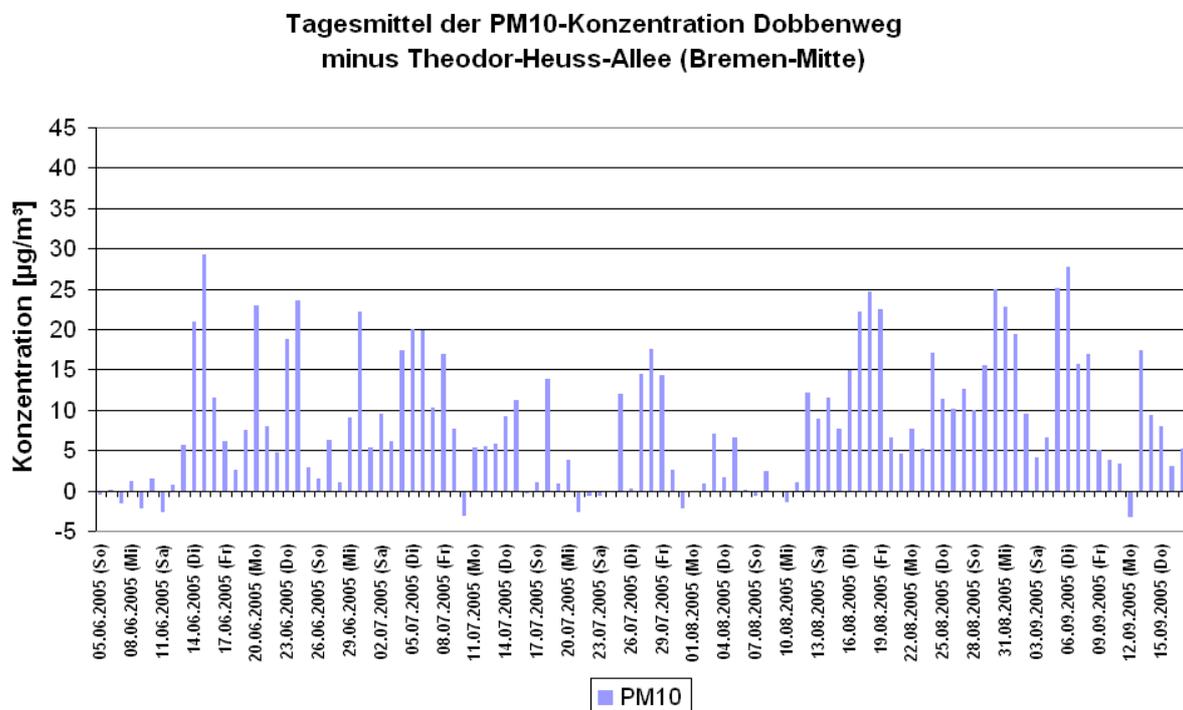
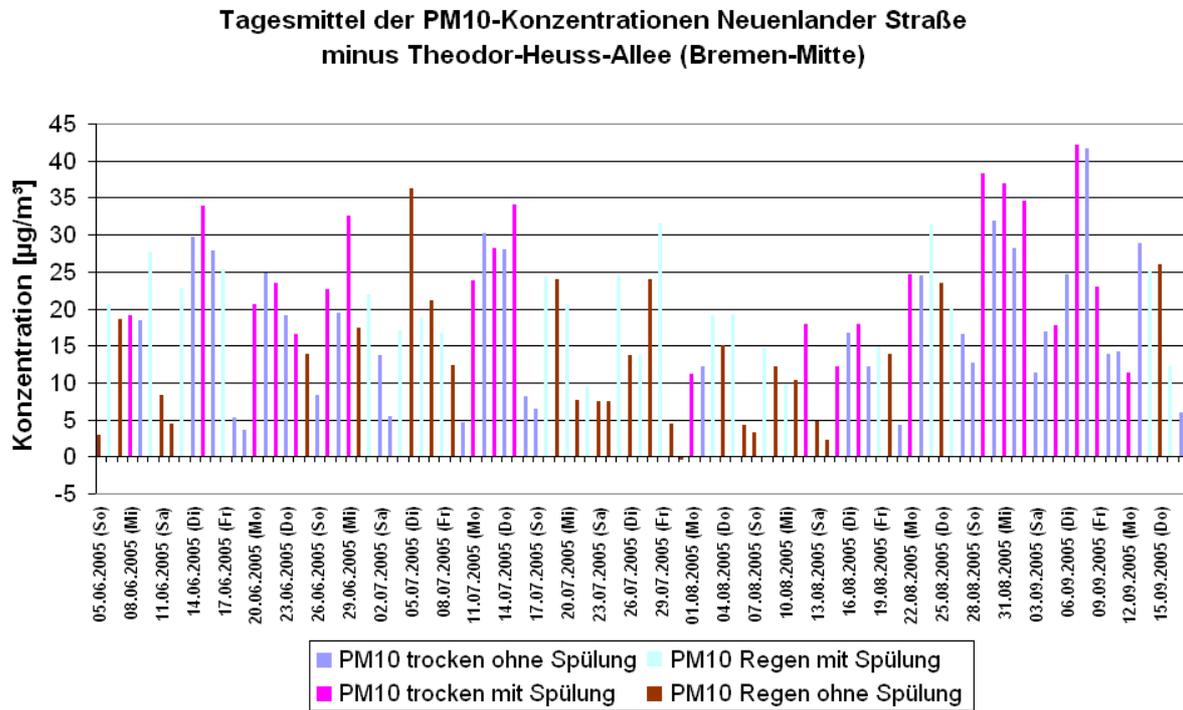


Abb. 3.8: Tagesmittelwerte der abgeschätzten Verkehrsbeiträge an der Neuenlander Straße und an dem Dobbenweg

Die abgeschätzten Verkehrsbeiträge variieren für die Neuenlander Straße im Auswertzeitraum zwischen -0.4 (also die PM10-Konzentrationen an der Theodor-Heuss-Allee waren höher als an der Neuenlander Straße) und $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sowie am Dobbenweg zwischen -4 und $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die negativen Werte weisen darauf hin, dass die Theodor-Heuss-Allee doch nicht immer die korrekte Vorbelastung für die Verkehrsstationen darstellt. Da diese Fälle allerdings selten sind, ist diese Vorgehensweise akzeptabel.

3.4 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 räumlichen und statistischen Unsicherheiten bei der Bestimmung dieser Zusatzbelastung durch Differenzbildung mit der Theodor-Heuss-Allee beruhen. 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 Neuenlander Straße 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 der **Abb. 3.9** sind die Quotienten aus PM10- und NO_x -Zusatzbelastung für den Auswertzeitraum dargestellt. Farblich hervorgehoben sind weiterhin die trockenen Tage ohne Straßenspülung, die trockenen Tage mit Straßenspülung sowie die Tage mit Regen der Station Bremen-Flughafen ohne und mit Straßenspülung.

Es ist zu erkennen, dass die Variationen der Quotienten mit Werten zwischen 0.07 und 0.47 in der Neuenlander Straße deutlich größer sind als mit Werten zwischen -0.16 und 0.20 im Dobbenweg. Es kann festgestellt werden, dass insbesondere in den trockenen Episoden

(Ende Juni und Anfang August bis Mitte September) das PM10/NO_x-Verhältnis der Zusatzbelastungen deutlich höher lag, als an den eher feuchten Zeiten (z. B. August).

Die statistische Auswertung der tagesmittleren Konzentrationen nach den Kriterien „alle Werktag (Montag bis Freitag)“, „trockener Werktag ohne Spülung“, „trockener Werktag mit Spülung“, „Werktag mit Regen ohne Spülung“ sowie „Werktag mit Regen und Spülung“ ist in der **Abb. 3.10** bis **3.12** aufgeführt. Hierbei ist Folgendes festzustellen:

- Die PM10-Gesamtbelastung (**Abb. 3.10** oben) an trockenen Werktagen mit Straßenspülung unterscheidet sich an der Neuenlander Straße nicht relevant von der PM10-Konzentration an trockenen Werktagen ohne Straßenspülung. Es lässt sich zwar feststellen, dass im Auswertzeitraum Juni bis September an Werktagen mit Spülung eine geringfügig geringere PM10-Konzentration zu verzeichnen ist als an trockenen Tagen ohne Spülung, dies gilt aber auch für den Dobbenweg und die PM10-Hintergrundkonzentrationen (Theodor-Heuss-Allee / Bremen-Mitte und Osterholzer Heerstraße / Bremen-Ost), obwohl dort ja nicht gespült worden ist. Dies weist daher eher auf einen meteorologischen Einfluss hin.
- Werktag mit Regen ohne Spülung zeigen an den zwei Verkehrsmessstationen (ca. 28 % an Neuenlander Straße, ca. 37 % am Dobbenweg) deutlich geringere PM10-Gesamtbelastungen als trockene Tage (**Abb. 3.10** oben). Die Reduktionen durch Regen an der Neuenlander Straße und dem Dobbenweg können nicht allein durch die Reduktionen in der städtischen Hintergrundbelastung erklärt werden. Bei Werktagen mit Regen und mit Spülung in der Neuenlander Straße liegt die PM10-Gesamtbelastung höher als an Regentagen ohne Spülung (ca. 10 % an der Neuenlander Straße bzw. ca. 20 % am Dobbenweg), aber unter der Belastung an trockenen Tagen (ca. 18 % an beiden Verkehrsmessstationen).
- Der PM10-Verkehrsbeitrag (**Abb. 3.11** oben) für die Neuenlander Straße zeigt an trockenen Tagen ohne Spülung keinen relevanten Unterschied zu den trockenen Tagen mit Spülung. Am Dobbenweg sind an den Tagen, wo in der Neuenlander Straße gespült worden ist, geringere PM10-Zusatzbelastungen gemessen worden als an den Tagen ohne Spülung. An trockenen Werktagen mit Straßenspülung zeigen sich im Auswertzeitraum somit in der Neuenlander Straße in der Gesamtbelastung und in der Zusatzbelastung keine geringeren (sondern eher geringfügig höhere) PM10-Konzentrationen als an trockenen Werktagen ohne Spülung.
- Die NO_x-Konzentrationen können als guter Indikator für die Auspuffemissionen angesehen werden. Bei etwa gleichem Emissionsverhalten (z. B. werktags) weisen Variationen in der NO_x-Konzentration hauptsächlich auf Änderungen in den Ausbreitungsbedingungen

infolge der Variationen in der Meteorologie hin. Dividiert man die PM10-Zusatzbelastung durch die NO_x-Zusatzbelastung, so ist deshalb dieser Quotient ein Indikator für Veränderungen in den PM10-Emissionen, da durch den Bezug zur NO_x-Zusatzbelastung die Einflüsse der meteorologischen Veränderungen und Veränderungen der Hintergrundbelastungen weitestgehend eliminiert sind. Dieser Quotient der Zusatzbelastung von PM10 und NO_x (**Abb. 3.12**) ist in der Neuenlander Straße wegen unterschiedlicher Zusammensetzung der Fahrzeugflotte und Verkehrssituation im Mittel ca. 25 % höher als am Dobbenweg. Der Quotient zeigt sowohl an der Neuenlander Straße als auch am Dobbenweg für die trockenen Werktage mit Spülung einen geringfügig (ca. 10 %) höheren Wert als an Werktagen ohne Spülung. An Regentagen mit als auch ohne Spülung zeigt sich an der Neuenlander Straße und am Dobbenweg etwa das gleiche Verhältnis der Veränderungen der PM10- und NO_x-Zusatzbelastungen. Dies deutet in der Tendenz eher auf einen geringen Einfluss der Spülungen auf die PM10-Zusatzbelastung und damit auf die Emissionen relativ zu trockenen Tagen in der Neuenlander Straße hin.

3.5 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 PM10-Emissionsfaktoren abgeleitet. Dazu wurden die über 24 h gemittelten NO_x-Emissionsdichten aus den abgeleiteten Verkehrsmengen (PKW, SV) und den PKW bzw. SV-Emissionsfaktoren nach HBEFa 2.1 (UBA, 2004) berechnet. Als tagesmittlere Verkehrssituation für die NO_x-Emissionsberechnung wurde entsprechend der örtlichen Gegebenheiten „LSA 1_S2 (Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlage, geringe Störungen und stauender Verkehr)“ angesetzt. Als Emissionsfaktoren ergeben sich damit für das entsprechende Bezugsjahr 2005 und der Flottenzusammensetzung entsprechend HBEFa 2.1 (UBA, 2004)

PKW inkl. LNF:	0.37 g NO _x /(km · Fzg)
SV:	9.2 g NO _x /(km · Fzg).

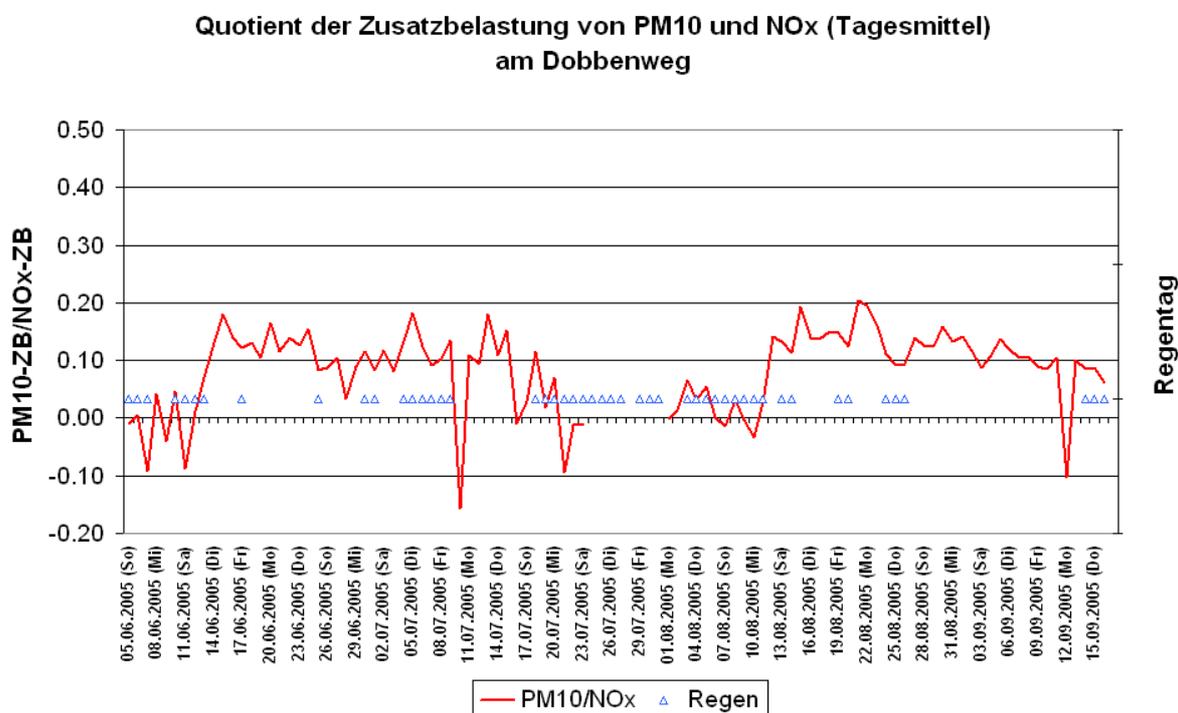
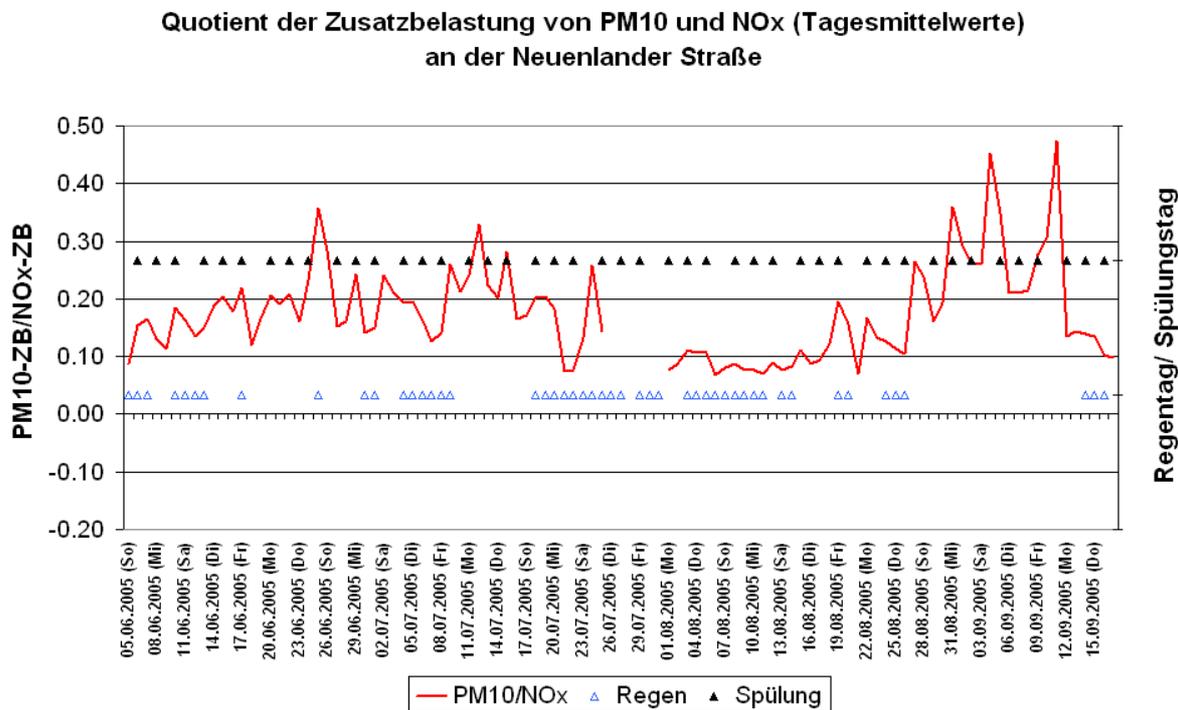
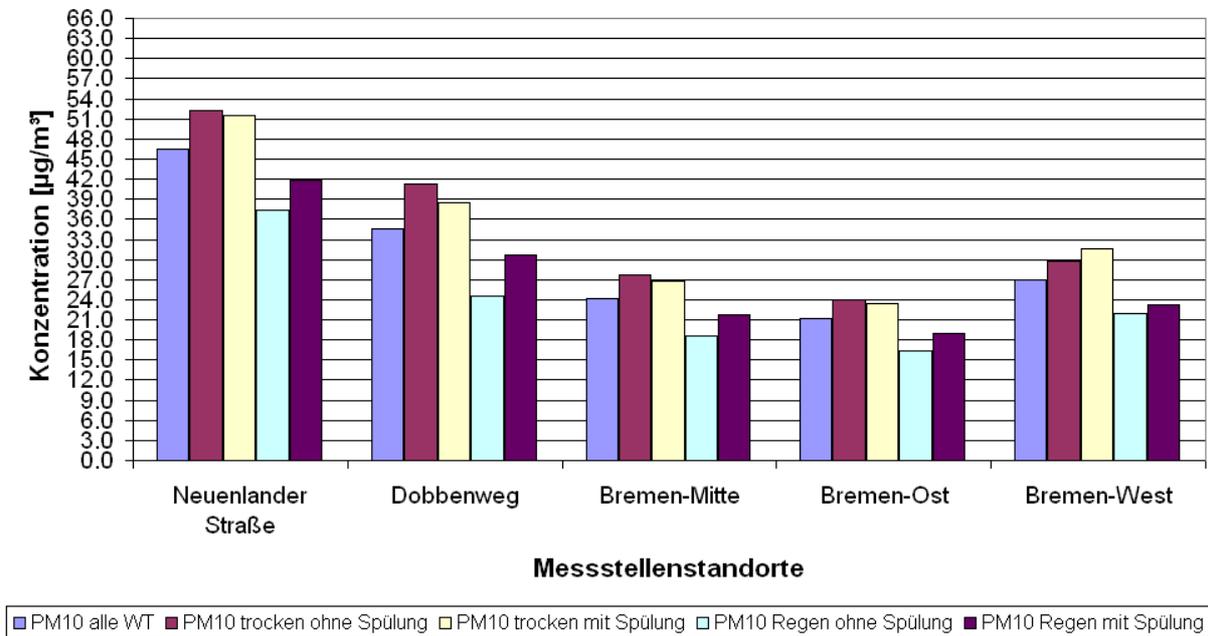


Abb. 3.9: Quotient der Tagesmittelwerte von Zusatzbelastung PM10 und NO_x an der Neuenlander Straße und am Dobbenweg. Kein Wert = fehlende Daten bei einer der Konzentrationskomponenten.

Mittelwert der Gesamtbelastung von PM10 für die Werktage



Mittelwert der Gesamtbelastung von NOx für die Werktage

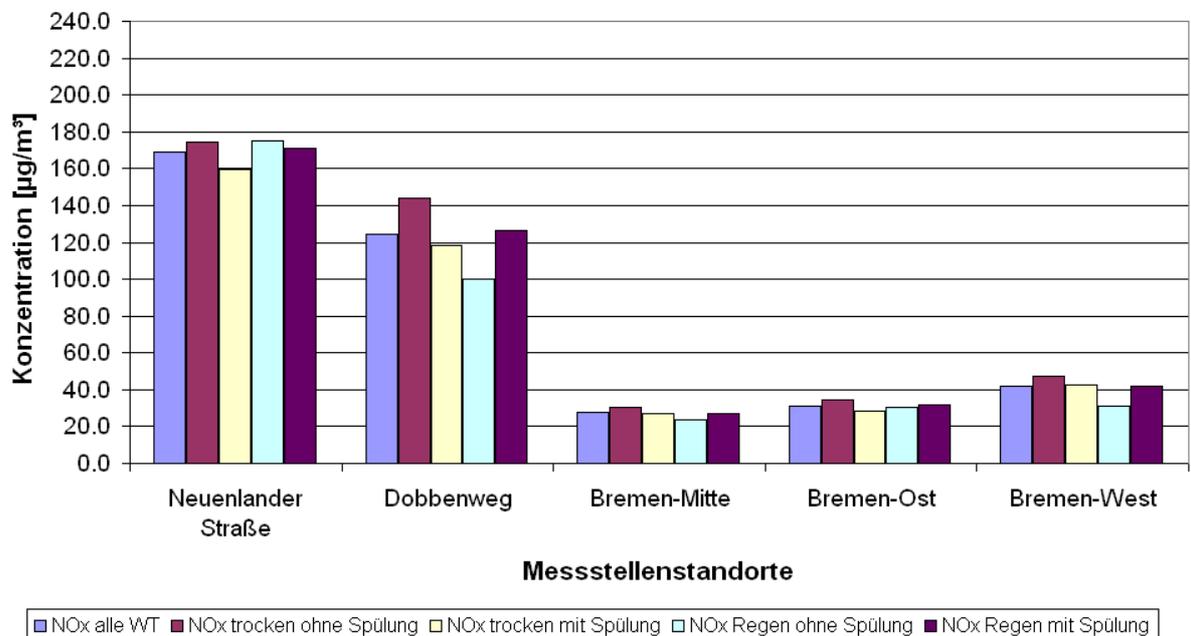


Abb. 3.10: Mittelwerte der NO_x- und PM10-Gesamtbelastung für die Werktage im Auswertzeitraum. (Spülung bedeutet Spülung in der Neuenlander Straße)

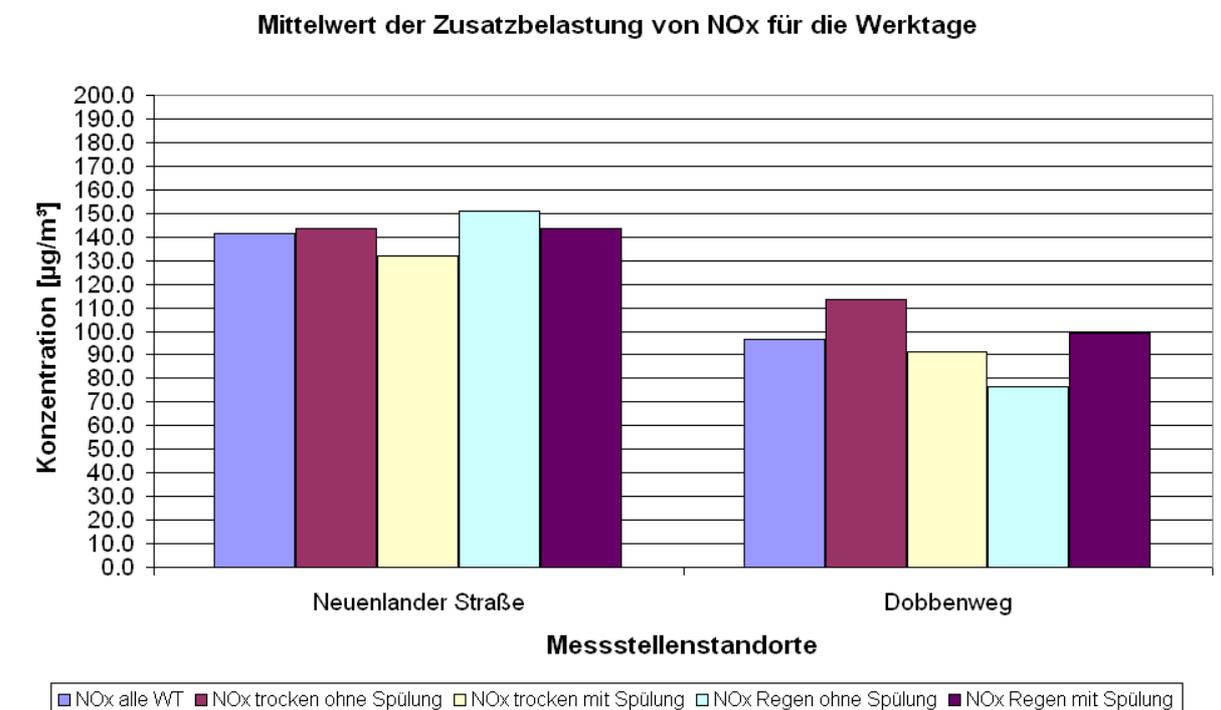
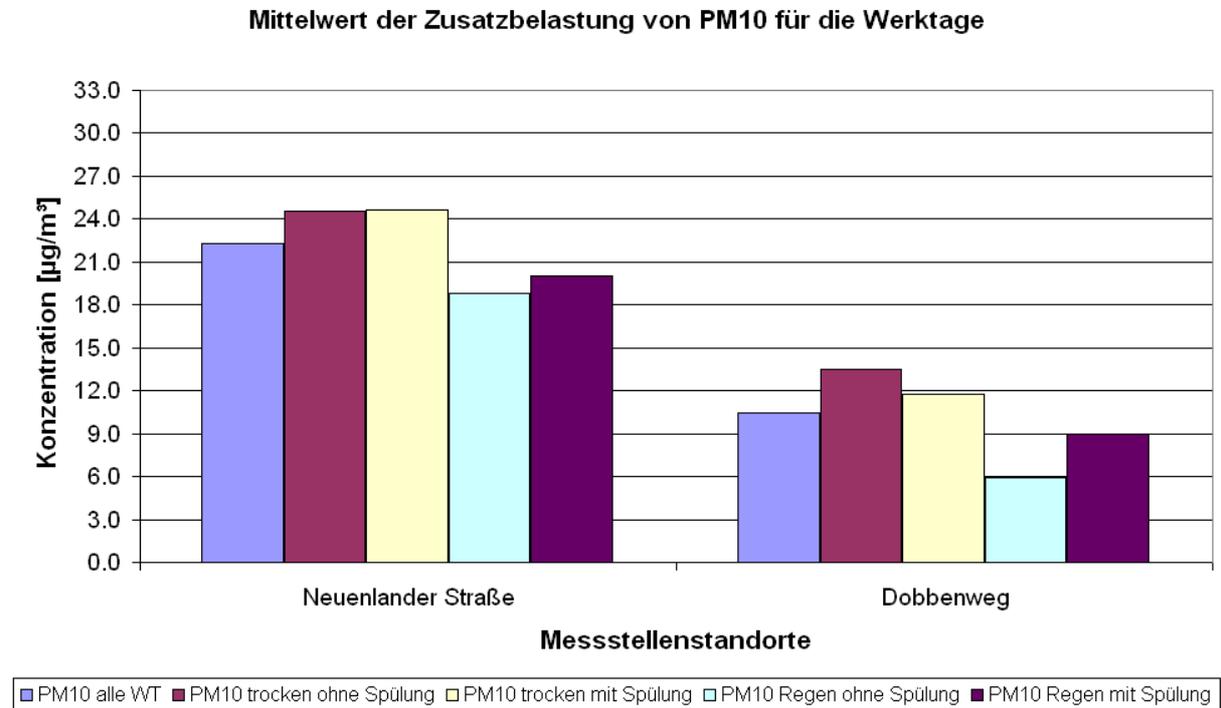


Abb. 3.11: Mittelwerte der NO_x- und PM10-Zusatzbelastung für die Werktage im Auswertzeitraum. (Spülung bedeutet Spülung in der Neuenlander Straße)

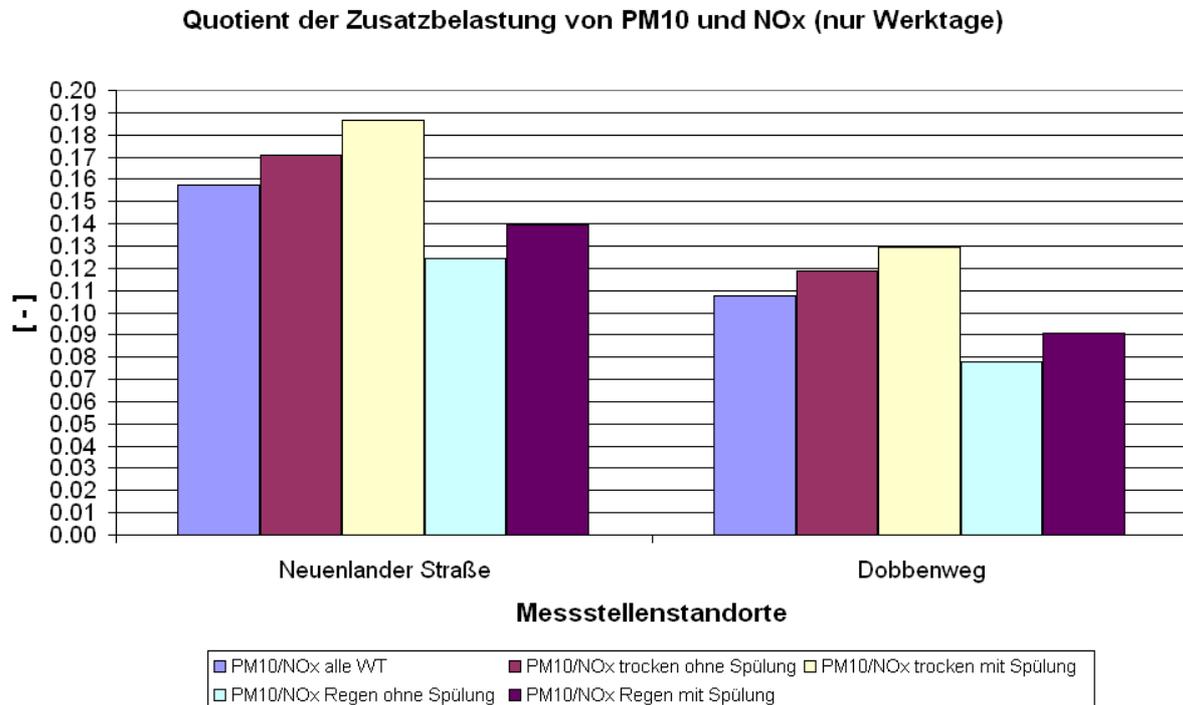


Abb. 3.12: Mittelwerte der Quotienten der Zusatzbelastungen von PM10 und NO_x für die Werktage im Auswertzeitraum. (Spülung bedeutet Spülung in der Neuenlander Straße)

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. 3.13** zeigt die ermittelten PM10-Emissionsfaktoren im Tagesmittel. Gekennzeichnet sind wieder die Tage mit Regen bzw. mit Straßenspülung. Die Fehltage im Verlauf resultieren aus NO_x-Zusatzbelastungen unterhalb einer angesetzten Schwelle von 50 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 Neuenlander Straße
ermittelt mit NO_x-Tracer-Methode**

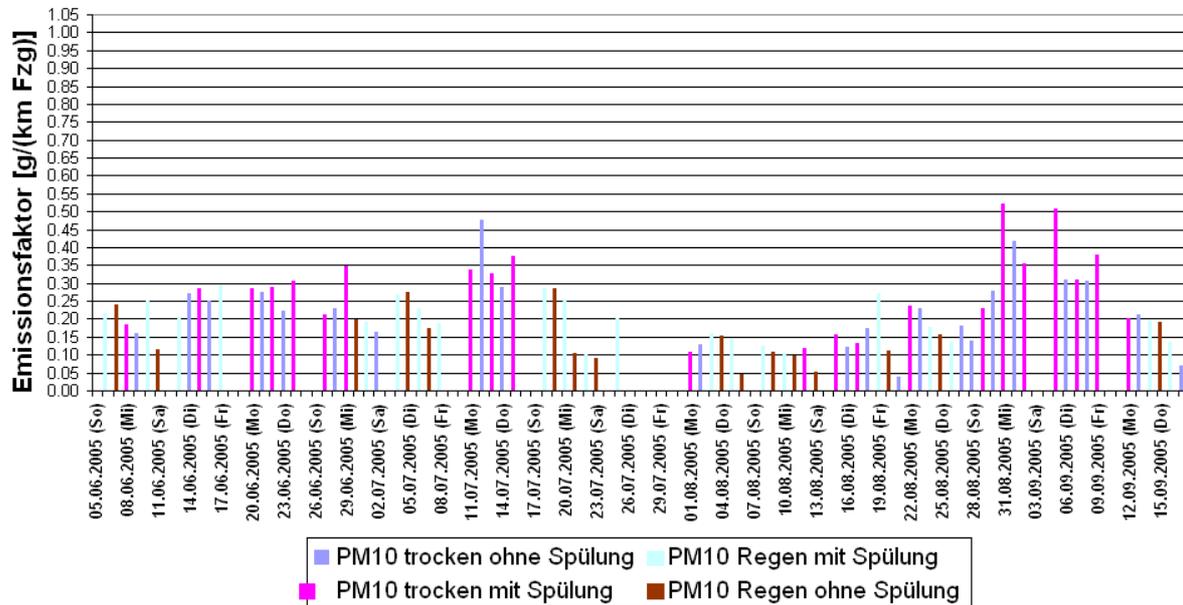


Abb. 3.13: Mittels NO_x-Tracermethode bestimmte PM10-Emissionsfaktoren (Tagesmittel)

Die berechneten Tagesmittelwerte variieren zwischen 0.04 g/(km · Fzg) (21.08.05 = Sonntag) und 0.52 g/(km · Fzg) (31.08.05 = Mittwoch), im Mittel um ca. 0.22 g/(km · Fzg). Die statistische Auswertung im Auswertzeitraum liefert die Ergebnisse, welche in der **Abb. 3.14** dargestellt sind.

So liegt der mit dieser Methode bestimmte mittlere Werktagemissionsfaktor bei ca. 0.24 g/(km · Fzg), an trockenen Werktagen ohne Spülung bei 0.26 g/(km · Fzg), an trockenen Werktagen mit Spülung bei 0.28 g/(km · Fzg), an Werktagen mit Regen ohne Spülung bei 0.18 g/(km · Fzg) und an Werktagen mit Regen und mit Spülung bei 0.20 g/(km · Fzg). Es konnte für den Auswertzeitraum kein relevanter Einfluss des tagesmittleren PM10-Emissionsfaktors in Abhängigkeit von der Straßenspülung festgestellt werden. In der Tendenz liegen die abgeleiteten tagesmittleren PM10-Emissionen an trockenen Tagen höher als an Tagen mit Regen, an Tagen mit Spülung höher als ohne Spülung.

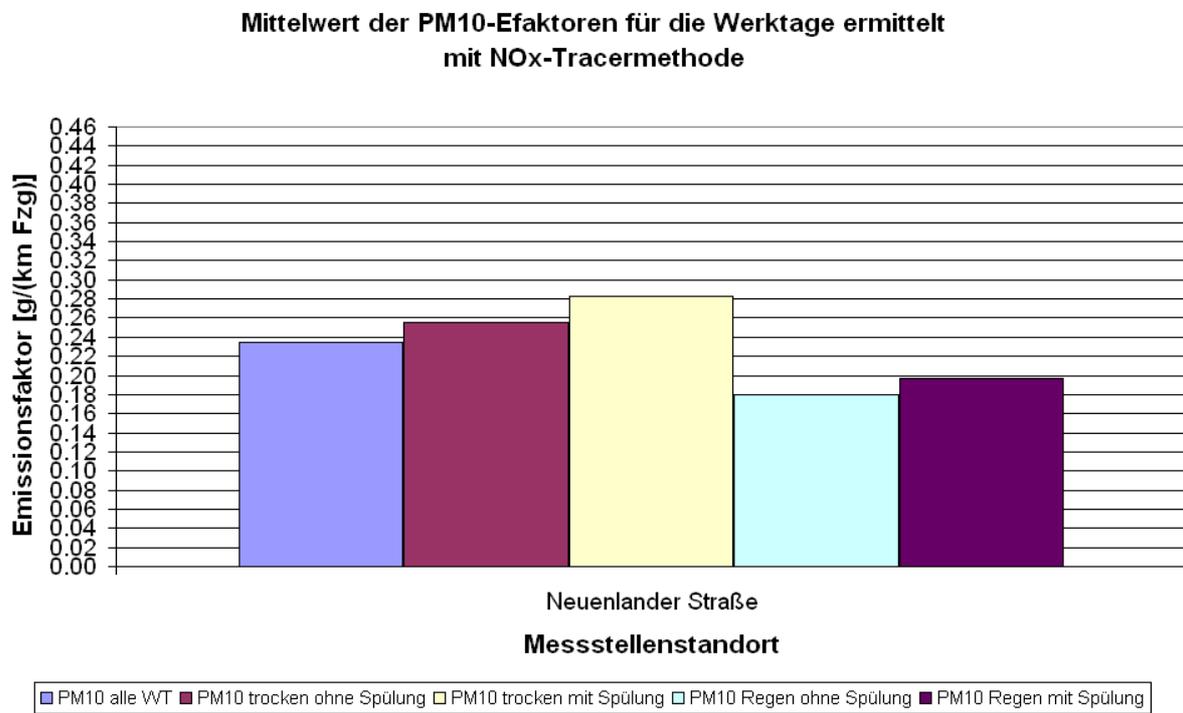


Abb. 3.14: Ergebnis der statistischen Auswertung der mittels NO_x-Tracermethode bestimmten PM10-Emissionsfaktoren (Tagesmittel)

4 AUSWERTUNG DER KONZENTRATIONEN FÜR LEE-SITUATIONEN

Der Messcontainer an der Neuenlander Straße befindet sich im Einflussbereich der Kreuzung Langemarckstraße/Duckwitzstraße und somit im Einflussbereich dieser Querstraßen. Um möglichst den Einfluss der Neuenlander Straße auf die Konzentrationen zu maximieren, d.h. das Verhältnis zwischen Verkehrsbeitrag und Hintergrundbelastung zu erhöhen, wurden die Windsektoren (Lee-Situation) ausgewählt, in der der Wind von der Neuenlander Straße möglichst direkt zur Messstelle wehte. Zur Auswertung dienten deshalb die Halbstundenwerte der Windrichtung zwischen 130° und 240° an der Messstation Theodor-Heuss-Allee (Bremen-Mitte), die Halbstundenwerte der PM10- und NO_x-Gesamtbelastung des Messcontainers an der Neuenlander Straße und der Messstation Theodor-Heuss-Allee (Bremen-Mitte) sowie die Stundenwerte der Niederschlagshöhen der Station Bremen-Flughafen. Im Folgenden werden, wie bereits in den vorherigen Kapiteln, wiederum die Werktage im Zeitraum 13.06. bis 15.09. nur auf Basis der Halbstundenwerte, unter Beachtung der trockenen Stunden ohne Spülung, mit Spülung und mit Regen¹ nur für die o. g. Windrichtungen ausgewertet. Um für die Situationen mit und ohne Spülung weitgehend gleiche Emissionsverhältnisse miteinander vergleichen zu können, wurden nur die Zeiten zwischen 22 Uhr und 7 Uhr ausgewertet, da nur in diesen Zeiten Straßenspülung vorkam bzw. durch die Spülung die Straße nass war. In der Auswertung ist Folgendes festzustellen:

- Die PM10-Gesamtbelastung (**Abb. 4.1** oben) in trockenen (nächtlichen) Stunden ohne Straßenspülung ist an der Neuenlander Straße im betrachteten Windrichtungssektor und Zeitfenster ca. 25 % höher als in trockenen (nächtlichen) Stunden mit Straßenspülung. In nächtlichen Stunden mit Regen liegt die PM10-Gesamtbelastung etwa 10 % unter der in (nächtlichen) trockenen Stunden mit Spülung. Auch die PM10-Hintergrundkonzentrationen in Bremen-Mitte zeigen die geringsten mittleren nächtlichen Stundenwerte bei Regen. Die Abnahme zwischen den Stunden ohne und mit Spülung ist hier allerdings prozentual geringer als an der Verkehrsstation.
- Die NO_x-Gesamtbelastungen (**Abb. 4.1** unten) zeigen für die trockenen Stunden ein ähnliches Verhalten wie beim PM10. An Regentagen sind die NO_x-Konzentrationen gegenüber den trockenen Tagen mit Spülung an der Verkehrsstation, im Gegensatz zu PM10, erhöht.

¹ Hinweis: Da nur 9 Halbstundenwerte für die Situation Regen ohne Spülung im beschriebenen Auswertefenster vorlagen wurde auf eine Trennung in Regenstunden mit bzw. ohne Spülung verzichtet.

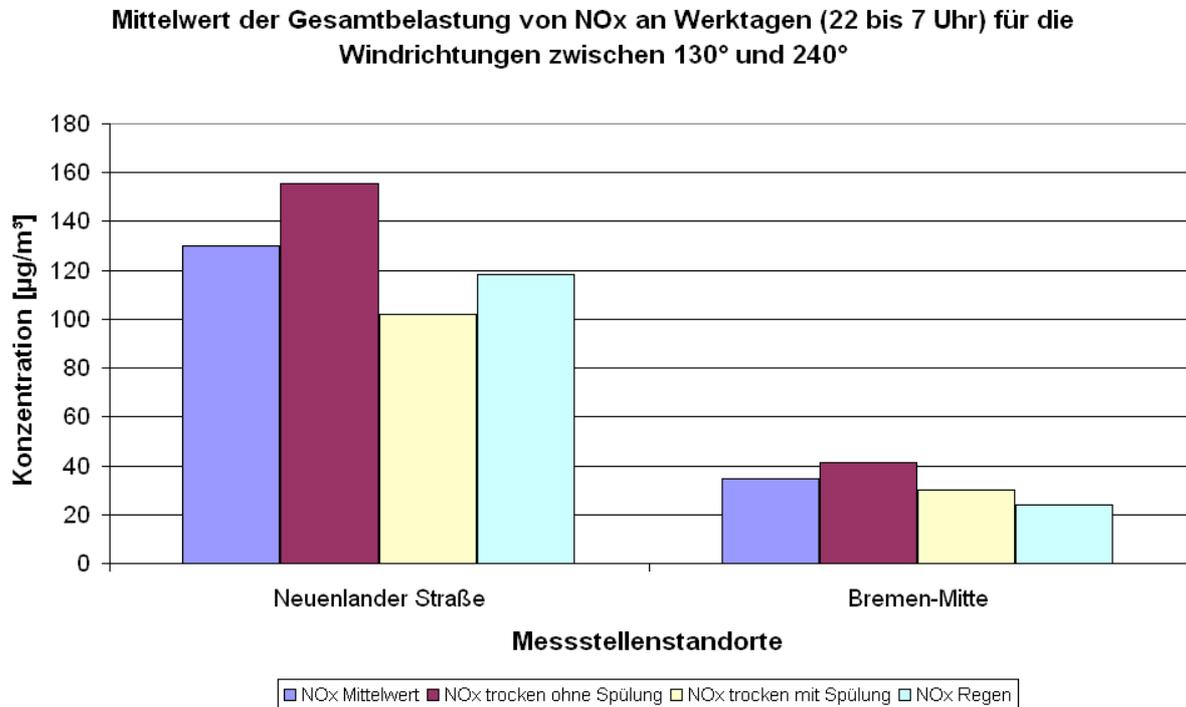
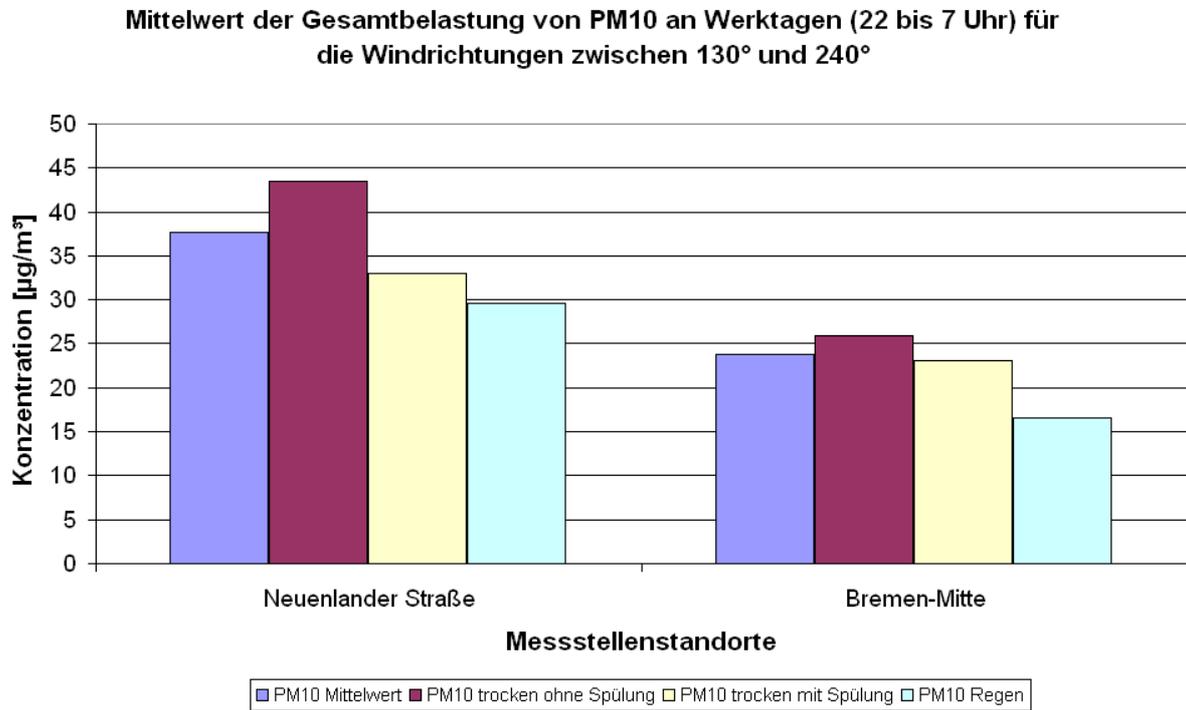


Abb. 4.1: Mittelwerte der Halbstundenwerte der PM10- und NO_x-Gesamtbelastung für die Werktage im Auswertzeitraum

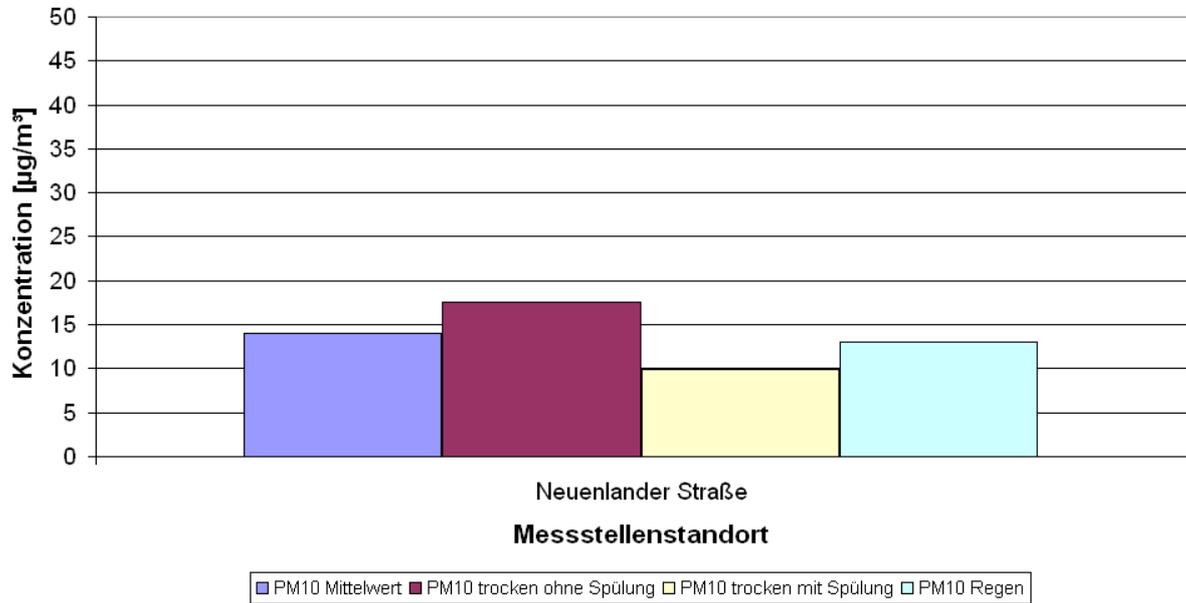
- Der PM10-Verkehrsbeitrag (**Abb. 4.2** oben) zeigt für die Neuenlander Straße in trockenen (nächtlichen) Stunden ohne Spülung höhere Konzentrationen (43 %) als in den trockenen (nächtlichen) Stunden mit Spülung. In (nächtlichen) Stunden mit Regen liegt der PM10-Verkehrsbeitrag um ca. 25 % niedriger als in trockenen (nächtlichen) Stunden ohne Spülung, aber höhere Konzentrationen als in (nächtlichen) trockenen Stunden mit Spülung. Diese Abhängigkeiten finden sich auch bei den NO_x-Verkehrsbeiträgen wieder (**Abb. 4.2** unten), sodass zunächst geschlussfolgert werden kann, dass diese Veränderungen stark von meteorologischen Einflüssen geprägt sind.
- Dies spiegelt sich im Quotienten der Zusatzbelastung von PM10 und NO_x (**Abb. 4.3**) an der Neuenlander Straße wider. Dieser Quotient ist für die untersuchten Situationen mit Werten zwischen 0.14 und 0.15 sehr ähnlich. Interessanterweise findet sich im Mittel über die trockenen (nächtlichen) Stunden ohne Spülung ein ca. 11 % höherer Wert als für die trockenen (nächtlichen) Stunden mit Spülung. In (nächtlichen) Regenstunden ist das Verhältnis der PM10- und NO_x-Zusatzbelastungen genau so groß wie in den (nächtlichen) trockenen Stunden mit Spülung.

Fazit für die nächtlichen Lee-Situationen:

An der Neuenlander Straße sind bei vorherrschenden nächtlichen Lee-Situationen sowohl in den PM10-Gesamtbelastungen als auch in den PM10-Zusatzbelastungen relevant niedrigere Werte in den trockenen Stunden mit Spülung gegenüber denen ohne Spülung festzustellen.

Die abgeleiteten Quotienten aus PM10- und NO_x-Zusatzbelastungen (zur Kompensation des Einflusses von unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen) zeigen für die nächtlichen Stunden mit Straßenspülung eine Abnahme um ca. 11 %, das heißt die PM10-Zusatzbelastung sinkt in den Stunden mit Straßenspülung relativ zu den Stunden ohne Spülung um diese 11 %. Diese Abnahme ist nicht durch Einflüsse der Ausbreitungsbedingungen erklärbar sondern weist eher auf den Spüleffekt (Bindung des aufwirbelbaren Staubes) hin. Die Reduktion durch die Straßenspülung entspricht der durch Regen. Dies ist plausibel, da in beiden Fällen die Bedingungen auf der Straße (jeweils nasse Fahrbahn) gleich sind.

Mittelwert der Zusatzbelastung von PM10 an Werktagen (22 bis 7 Uhr) für die Windrichtungen zwischen 130° und 240°



Mittelwert der Zusatzbelastung von NOx an Werktagen (22 bis 7 Uhr) für die Windrichtungen zwischen 130° und 240°

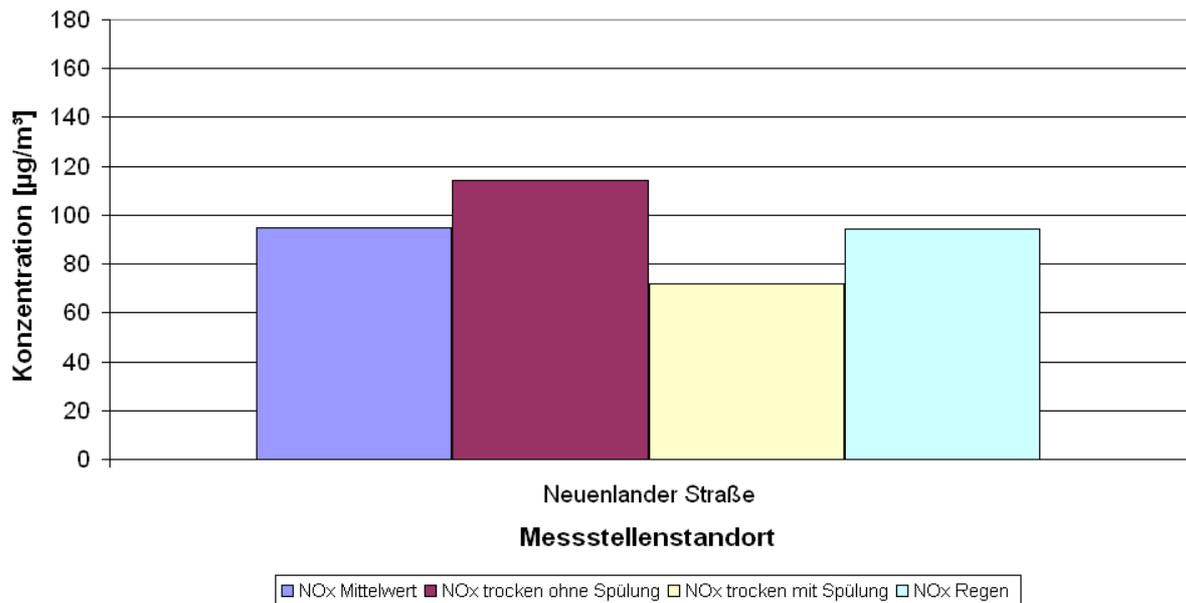


Abb. 4.2: Mittelwerte der Halbstundenwerte der Zusatzbelastungen von PM10 und NO_x für die Werktage im Auswertezeitraum

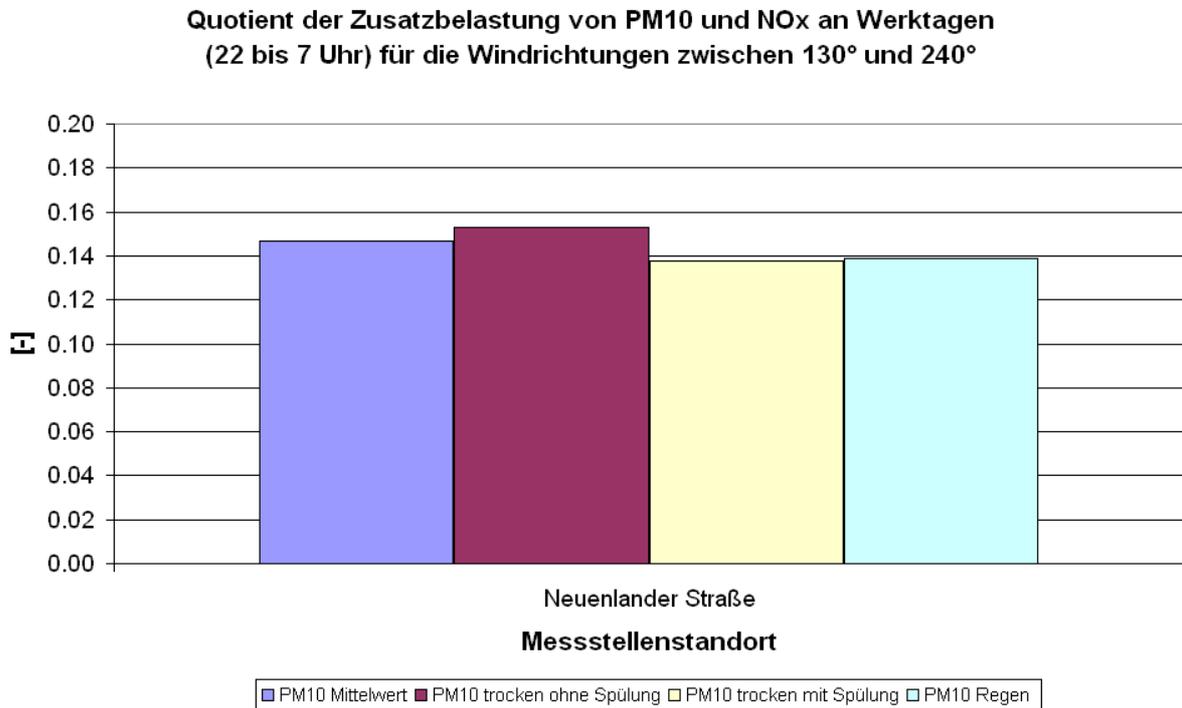


Abb. 4.3: Mittelwerte der Halbstundenwerte des Quotienten der Zusatzbelastungen von PM10 und NO_x für die Werktage im Auswertezeitraum

5 STATISTISCHE KENNGRÖSSEN FÜR DEN AUSWERTEZEITRAUM

Im Folgenden werden ergänzend zu den bisherigen detaillierten Auswertungen für die Werkzeuge (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	Neuenlander		Bremen-		Bremen-
	Straße	Dobbenweg	Mitte	Bremen-Ost	West
PM10-Mittelwert-GB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	41	31	23	20	25
PM10-Mittelwert-ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	18	9			
NOx-Mittelwert-GB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	138	108	24	26	34
NOx-Mittelwert-ZB [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	114	84			
PM10-Mittelwert-GB ohne Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	37	29	22	19	23
NOx-Mittelwert-GB ohne Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	117	96	22	23	28
PM10-Mittelwert-GB mit Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	46	35	24	21	27
NOx-Mittelwert-GB mit Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	165	122	27	30	42
PM10-Mittelwert-ZB ohne Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	15	7			
NOx-Mittelwert-ZB ohne Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	96	74			
PM10-Mittelwert-ZB mit Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	22	10			
NOx-Mittelwert-ZB mit Spülung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	138	95			
Verhältnis PM10/NOx-Mittelwert-ZB ohne Spülung	0.16	0.10			
Verhältnis PM10/NOx-Mittelwert-ZB mit Spülung	0.16	0.11			
PM10-Emissionsfaktor [g/(km Fzg)]	0.22				
PM10-Emissionsfaktor ohne Spülung [g/(km Fzg)]	0.19				
PM10-Emissionsfaktor mit Spülung [g/(km Fzg)]	0.24				

Tab. 5.1: Kenngrößen der PM10- und NO_x-Konzentrationen bzw. der mittels NO_x-Tracermethode abgeleiteten PM10-Emissionsfaktoren für den gesamten Auswertzeitraum. GB= Gesamtbelastung, ZB= Zusatzbelastung

Hier ist zu erkennen, dass für die Tage mit Straßenspülung die PM10- und NO_x-Gesamtbelastungen für alle Stationen höher sind. Der PM10-Verkehrsbeitrag an der Neuenlander Straße sowie der PM10-Verkehrsbeitrag am Dobbenweg ist an Tagen mit Spülung gleichermaßen ca. 40 % höher als an Tagen ohne Spülung. Der NO_x- Verkehrsbeitrag der Verkehrsmessstation ist an Tagen ohne Spülung ca. 40 % (Neuenlander Straße) bzw. 28 % (Dobbenweg) höher als an Tagen mit Spülung. Dies weist primär auf meteorologische Einflüsse als Ursache für die Änderungen bei der PM10-Zusatzbelastung hin. Das Verhältnis der PM10- zu NO_x-Verkehrsbeiträge ist deshalb für die Tage mit und ohne Spülung für den Gesamtauswertzeitraum etwa gleich. Die abgeleiteten PM10-Emissionsfaktoren variieren für die Tagen mit Spülung und ohne Spülung um ca. 25 % (mit der Tendenz zu höheren Emissionsfaktoren an Tagen mit Spülung). Dies sollte aber im Bereich der Ungenauigkeit der Bestimmung der Emissionsfaktoren bei der hier vorliegenden Ausgangslage der Daten liegen (siehe Kapitel Vorbelastung und Verkehr).

6 SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN DATENAUSWERTUNGEN

An der Neuenlander Straße sind bei vorherrschenden nächtlichen Lee-Situationen sowohl in den PM10-Gesamtbelastungen als auch in den PM10-Zusatzbelastungen relevant niedrigere Werte in den trockenen Stunden mit Spülung gegenüber denen ohne Spülung festzustellen.

Die abgeleiteten Quotienten aus PM10- und NO_x-Zusatzbelastungen (zur Kompensation des Einflusses von unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen) zeigen für die nächtlichen Stunden mit Straßenspülung eine Abnahme um ca. 11 %, das heißt die PM10-Zusatzbelastung sinkt in den nächtlichen Stunden mit Straßenspülung relativ zu den nächtlichen Stunden ohne Spülung um diese 11 %. Diese Abnahme ist nicht durch Einflüsse der Ausbreitungsbedingungen erklärbar sondern weist eher auf den Spüleffekt (Bindung des aufwirbelbaren Staubes) hin. Die Reduktion durch die Straßenspülung entspricht der durch Regen. Dies ist plausibel, da in beiden Fällen die Bedingungen auf der Straße (jeweils nasse Fahrbahn) gleich sind.

In den Datenauswertungen konnte an der Messstelle Neuenlander Straße allerdings, im Gegensatz zu den nächtlichen Lee-Situationen, kein signifikanter Unterschied zwischen den trockenen Werktagen mit und ohne Spülung festgestellt werden. Die PM10-Gesamtbelastungen in der Neuenlander Straße zeigen im Vergleich der trockenen Werktage ohne und mit Spülung keine bzw. eine sehr geringe Reduktion, bzw. keine Veränderung im abgeschätzten PM10-Verkehrsbeitrag. Um verkehrliche und meteorologische Schwankungen bei diesen Tagen soweit möglich auszugleichen wurden auch hier die Quotienten der PM10- und NO_x-Verkehrsbeiträge analysiert bzw. mittels NO_x-Tracermethode PM10-Emissionsfaktoren abgeleitet. Der Quotient der Zusatzbelastungen zeigt für die Tage mit Straßenspülung in der Tendenz höhere Werte als an den Tagen ohne Spülung. An Regentagen liegen diese Werte deutlich niedriger als an trockenen Tagen. Das heißt an Regentagen sind relativ zum NO_x-Verkehrsbeitrag (Tracer für Auspuffemissionen) geringere PM10-Zusatzbelastungen beobachtet wurden. Diese Verhältnisse findet man auch an der Station Dobbenweg.

Die abgeleiteten Emissionsfaktoren zeigen in der Tendenz für die trockenen Werktage mit Straßenspülung ca. 17 % höhere Werte als an trockenen Werktagen ohne Spülung. Dies

liegt damit innerhalb der Bandbreite des zu erwartenden Fehlers dieser Bestimmungs-
methode, welcher mit max. ± 22 % abgeschätzt werden kann².

Wenn überhaupt ein Minderungseffekt durch Straßenspülungen vorliegt, dann konnte dieser
entsprechend der durchgeführten Auswertungen nur bei den ausgewerteten nächtlichen Lee-
Wind-Situationen festgestellt werden. Dort lag der Minderungseffekt bei ca. 11 %. Da nachts
die PM10-Emissionen ohnehin eher gering sind und Lee-Wind-Situationen nur einen Teil der
gesamten Windsituationen ausmachen, lag bei Betrachtung des gesamten Aus-
wertzeitraumes der Minderungseffekt im Bereich der natürlichen Variationen der Konzent-
rationen bzw. im Bereich der Unsicherheiten bei der Bestimmung der Zusatzbelastung bzw.
der Ableitung von PM10-Emissionsfaktoren.

Die regelmäßige Straßenspülung in der Neuenlander Straße lieferte somit bisher nicht den
erhofften Minderungseffekt auf die PM10-Belastungen.

² Im Rahmen einer Sensitivitätsbetrachtung wurden dazu die mittleren Verkehrsstärken und die
NO_x-Emissionsfaktoren voneinander unabhängig um jeweils ± 20 %, die mittleren Vorbelastungen
voneinander unabhängig um jeweils ± 20 % 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.

7 ABSCHÄTZUNG DES THEORETISCH MAXIMALEN MINDERUNGSPOTENZIALS BEI GANZTÄGIGER STRASSENSPÜLUNG

Im Folgenden soll abgeschätzt werden, welcher Minderungseffekt eintreten würde, wenn an Werktagen (Montag bis Freitag) ganztägig entsprechende Straßenspülungen der Neuenlander Straße durchgeführt werden, wobei angenommen wird, dass dadurch die Fahrbahnoberfläche dauerhaft feucht gehalten werden könnte.

Die PM10-Gesamtbelastung für alle Werktage liegt an der Neuenlander Straße im Auswertzeitraum bei $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei einer PM10-Belastung von $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Bremen-Mitte kann für die Messstelle Neuenlander Straße ein Verkehrsbeitrag von ca. $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abgeschätzt werden (siehe Kapitel 3).

Dieser Verkehrsbeitrag resultiert aus motorbedingten Emissionen und Emissionen infolge Abriebs und Aufwirbelung (Auf/Ab). Nach Düring et al. (2004) sowie HBEFa 2.1 (UBA, 2004) wird für die festgelegte Verkehrssituation im Bereich der Messstelle (Abschnitt 3.5) und der abgeschätzten Aufteilung der Fahrzeuge in PKW und LKW (Abschnitt 2.3) eine Aufteilung der PM10-Emissionen in ca. 35 % Motoremissionen und ca. 65 % Auf/Ab erwartet. Setzt man voraus, dass durch ein dauerhaftes Feuchthalten der Fahrbahn die Emission nicht motorbedingter Partikel verhindert werden könnte, so würde sich eine theoretische Minderung der PM10-Gesamtbelastung von $(24 \text{ plus } 22 \cdot 0,35) \mu\text{g}/\text{m}^3 = 32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ergeben. Dies entspräche für die Werktage einem maximalen theoretischen Minderungspotenzial von 30 % für die PM10-Gesamtbelastung.

Dieser Wert ist allerdings mit Unsicherheiten behaftet, die von der Genauigkeit der LKW-Anteile, der festgelegten Verkehrssituation zur Berechnung der Emissionen, der Ableitung der PM10-Hintergrundbelastung (und damit des PM10-Verkehrsbeitrages) und insbesondere von der Genauigkeit der Emissionsfaktoren in den entsprechenden Emissionsmodellen abhängen. Eine Sensitivitätsbetrachtung unter Variation der Einflussgrößen entsprechend der Ausführungen in der Fußnote im Kap. 6 und zusätzlich einer angenommenen Unsicherheit von 50 % bei den nicht motorbedingten PM10-Emissionsfaktoren lieferte theoretische Minderungspotenziale in einer Bandbreite zwischen 24 % und 38 % in der PM10-Gesamtbelastung. Das theoretische Minderungspotenzial ist demnach hoch.

Vergleicht man dieses theoretische Minderungspotenzial mit den beobachteten Minderungen an Regentagen (Fahrbahn während des Regens und eine gewisse Zeit nach dem Regen ebenfalls feucht) kann Folgendes festgestellt werden:

An Regentagen wurden Minderungen in den abgeleiteten PM10-Emissionen von ca. 24 % relativ zu trockenen Werktagen festgestellt (**Abb. 3.14**). Der Quotient aus PM10- und NO_x-Zusatzbelastungen, der auf Veränderungen in den PM10- relativ zu den NO_x-Emissionen hinweist, reduziert sich an Regentagen um ca. 28 % relativ zu trockenen Werktagen (**Abb. 3.12**). Da der Verkehrsanteil ca. 50 % an der PM10-Gesamtbelastung beträgt, ergibt sich eine, bezogen auf die an Regentagen gegenüber trockenen Tagen korrigierte Ausbreitungs- und Hintergrundbedingungen, Reduktion in der PM10-Gesamtbelastung von ca. 12 bis 14 %. (Hinweis: Beobachtet wurde zwar eine Reduktion in der Gesamtbelastung an Regentagen von ca. 25 % [siehe **Abb. 3.10**], diese ist aber zusätzlich beeinflusst von den an Regentagen im Allgemeinen günstigeren Ausbreitungsbedingungen und geringeren Hintergrundbelastungen).

Die aus den Messdaten abgeleitete Reduktion der PM10-Konzentrationen an Regentagen ist mit 12 bis 14 % somit deutlich geringer, als das aus o.g. Abschätzungen abgeleitete theoretische Minderungspotenzial von ca. 30 %. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass ein Regentag im Allgemeinen nicht bedeutet, dass die Straße über den gesamten Tag hin feucht war, wie es bei der Abschätzung des theoretisch maximalen Minderungspotenzials zugrunde gelegt wurde. Dies wird erfahrungsgemäß im betrachteten Auswertzeitraum eher die Ausnahme gewesen sein. Ein höheres Minderungspotenzial bei ganztägigem Feuchthalten der Straße als an den Regentagen beobachtet wäre damit plausibel.

Die Auswertung der nächtlichen Lee-Situationen deutete für die Stunden mit Straßenspülung auf eine Reduktion der PM10-Emissionen von ca. 11 % gegenüber den trockenen Stunden hin (Kap. 4). Bei einem mittleren nächtlichen LKW-Anteil von 15 % und angenommener Verkehrssituation LSA 1 (ohne Stau) ergeben die Emissionsmodelle eine Aufteilung der PM10-Emissionen in ca. 34 % motorbedingte und ca. 66 % nicht motorbedingte Emissionen (Auf/Ab). Bei noch flüssiger Fahrweise würde sich das Verhältnis bis auf ca. 50 % motorbedingt und 50 % Auf/Ab verschieben. Geht man wiederum im günstigsten Fall von einer 100 %igen Reduktion der nicht motorbedingten Emissionen während des Feuchthaltens der Fahrbahn aus, so ergäbe sich eine Reduktion der nächtlichen Zusatzbelastung von ca. 50 bis 66 %. Beobachtet wurde allerdings nur eine Abnahme von ca. 11 %, die in diesem Fall deutlich geringer als das theoretische Minderungspotenzial ist. Zu den möglichen Ursachen

dieser Diskrepanz siehe die Diskussion zu den Unsicherheiten der Analysen oben. Da der Verkehrsbeitrag der PM10-Konzentrationen nachts wegen der geringeren Verkehrsstärken deutlich geringer ist als im Tagesmittel, sind allerdings die Unsicherheiten in der abgeleiteten Reduktion noch größer als in o.g. Sensitivitätsbetrachtung. Auch die gesperrte, nicht von der Straßenspülung beeinflusste und somit immer stark staubbeladene Rechtsabbiegespur könnte einen negativen Einfluss auf die Minderungen gehabt haben.

Wie hoch das tatsächliche Minderungspotenzial bei ganztägigen Feuchthalten der Fahrbahn wäre, könnte nur eine Analyse der Situation bei ganztägiger Straßenspülung über einen längeren Zeitraum (mindestens 3 Monate), also der Praxistest, ergeben.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Im Zeitraum 5. Juni bis 17. September 2005 fanden in Bremen in der Neuenlander Straße zwischen Oldenburger Straße (B 75) und Kirchweg regelmäßige Straßenspülungen statt. Hierbei wurde in den Nächten vom Sonntag zum Montag, vom Dienstag zum Mittwoch sowie vom Donnerstag zum Freitag, jeweils zwischen 22.00 und 6.00 Uhr insgesamt 6-mal pro Fahrstreifen 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 wurde die Spülung trotzdem durchgeführt. Insgesamt wurde an 45 der 105 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 Beendigung der Spülung noch ca. eine bis drei Stunden (je nach Temperatur, Sonneneinstrahlung und Verkehrsdichte) feucht.

Für eine Datenanalyse standen kontinuierliche ($\frac{1}{2}$ h-Mittelwerte) PM10- (TEOM) sowie NO- und NO₂-Immissionsdaten des BLUES-Messnetzes für den Projektzeitraum zur Verfügung.

Weiterhin wurden kontinuierliche Verkehrszählungen getrennt nach PKW und Schwerer Güterverkehr sowie differenziert nach den Fahrrichtungen für die Neuenlander Straße im Bereich Neuenlander Ring/ Kattenturmer Heerstraße durch den Auftraggeber (Abteilung Verkehr) bereitgestellt. Diese Daten wurden nach Absprache mit dem Auftraggeber auf die Situation an dem Verkehrsmesscontainer Neuenlander Straße angepasst. Die Verkehrsstärken lagen demnach im Wochenmittel bei 40 500 Kfz/d. Der Güterverkehrs-Anteil > 3.5 t lag bei 9.2 %. Eine Woche Mitte Juni sowie Mitte Juli bis Mitte August wurden wegen der Ferientendenziell weniger Fahrzeuge gezählt als außerhalb dieses Zeitraumes. Im Messzeitraum waren keine größeren Auffälligkeiten in den Verkehrsstärken zu verzeichnen gewesen.

Niederschlagsdaten wurden durch den DWD Hannover für die Station Bremen-Flughafen zur Verfügung gestellt. Im Auswertzeitraum zwischen 05.06. und 17.09.05 hat es an der Station

Bremen-Flughafen an 49 der 105 Tage geregnet. Die Regenhäufigkeit lag somit im Mittel bezogen auf den gesamten Messzeitraum bei 47 %.

Die PM10-Gesamtbelastungen im Auswertzeitraum betragen in der Neuenlander Straße 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, im Dobbenweg 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und in der Theodor-Heuss-Allee (Bremen-Mitte - städtischer Hintergrund) 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aus den PM10- und NO_x -Gesamtbelastungen an der Station Neuenlander Straße, den Hintergrundkonzentrationen an der Theodor-Heuss-Allee (Bremen-Mitte) und 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, Regentage ohne Spülung sowie Regentage mit Spülung 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.

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

- Die PM10-Gesamtbelastung an trockenen Werktagen mit Straßenspülung unterscheidet sich an der Neuenlander Straße nicht relevant von der PM10-Konzentration an trockenen Werktagen ohne Straßenspülung. Es lässt sich zwar feststellen, dass im Auswertzeitraum Juni bis September an Werktagen mit Spülung eine geringfügig geringere PM10-Konzentration zu verzeichnen ist als an trockenen Tagen ohne Spülung, dies gilt aber auch für den Dobbenweg und die PM10-Hintergrundkonzentrationen (Theodor-Heuss-Allee / Bremen-Mitte und Osterholzer Heerstraße / Bremen-Ost), obwohl dort ja nicht gespült worden ist. Dies weist daher eher auf einen meteorologischen Einfluss hin.
- Werktage mit Regen ohne Spülung zeigen an den zwei Verkehrsmessstationen (ca. 28 % an Neuenlander Straße, ca. 37 % am Dobbenweg) deutlich geringere PM10-Gesamtbelastungen als trockene Tage. Die Reduktionen durch Regen an der Neuenlander Straße und dem Dobbenweg können nicht allein durch die Reduktionen in der städtischen Hintergrundbelastung erklärt werden. Bei Werktagen mit Regen und mit Spülung in der Neu-

enlander Straße liegt die PM10-Gesamtbelastung höher als an Regentagen ohne Spülung (ca. 10 % an der Neuenlander Straße bzw. ca. 20 % am Dobbenweg), aber unter der Belastung an trockenen Tagen (ca. 18 % an beiden Verkehrsmessstationen).

- Der PM10-Verkehrsbeitrag für die Neuenlander Straße zeigt an trockenen Tagen ohne Spülung keinen relevanten Unterschied zu den trockenen Tagen mit Spülung. Am Dobbenweg sind an den Tagen, wo in der Neuenlander Straße gespült wurde, geringere PM10-Zusatzbelastungen gemessen worden als an Tagen ohne Spülung. An trockenen Werktagen mit Straßenspülung zeigen sich im Auswertzeitraum somit in der Neuenlander Straße 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 ist in der Neuenlander Straße im Mittel ca. 25 % höher als am Dobbenweg. Der Quotient zeigt sowohl an der Neuenlander Straße als auch am Dobbenweg für die trockenen Werktage mit Spülung einen geringfügig (ca. 10 %) höheren Wert als an Werktagen ohne Spülung. An Regentagen mit als auch ohne Spülung zeigt sich an der Neuenlander Straße und am Dobbenweg etwa das gleiche Verhältnis der Veränderungen der PM10- und NO_x-Zusatzbelastungen. Dies deutet in der Tendenz eher auf einen geringen Einfluss der Spülungen auf die PM10-Zusatzbelastung relativ zu trockenen Tagen in der Neuenlander Straße hin.
- Die abgeleiteten Emissionsfaktoren zeigen in der Tendenz für die trockenen Werktage mit Straßenspülung ca. 17 % höhere Werte als an trockenen Werktagen ohne Spülung. Dies liegt damit innerhalb der Bandbreite des zu erwartenden Fehlers dieser Bestimmungsmethode, welcher mit max. ±22 % abgeschätzt werden kann.

Um möglichst den Einfluss der Neuenlander Straße auf die Konzentrationen zu maximieren, d.h. das Verhältnis zwischen Verkehrsbeitrag und Hintergrundbelastung zu erhöhen, wurden in einer anschließenden Auswertung die Windsektoren (Lee-Situation) ausgewählt, in der der Wind von der Neuenlander Straße möglichst direkt zur Messstelle wehte. Zur Selektion dienten dazu die Halbstundenwerte der Windrichtung zwischen 130° und 240° an der Messstation Theodor-Heuss-Allee (Bremen-Mitte). Um für die Situationen mit und ohne Spülung weitgehend gleiche Emissionsverhältnisse miteinander vergleichen zu können, wurden nur die Zeiten zwischen 22 Uhr und 7 Uhr ausgewertet, da nur in diesen Zeiten Straßenspülung vorkam bzw. durch die Spülung die Straße feucht war.

An der Neuenlander Straße sind bei vorherrschenden nächtlichen Lee-Situationen sowohl in den PM10-Gesamtbelastungen als auch in den PM10-Zusatzbelastungen relevant niedrigere Werte in den trockenen Stunden mit Spülung gegenüber denen ohne Spülung festzustellen.

Die abgeleiteten Quotienten aus PM10- und NO_x-Zusatzbelastungen (zur Kompensation des Einflusses von unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen) zeigen für die nächtlichen Stunden mit Straßenspülung eine Abnahme um ca. 11 %, das heißt die nächtlichen PM10-Zusatzbelastung sinkt in den Stunden mit Straßenspülung relativ zu den nächtlichen Stunden ohne Spülung um diese 11 %. Diese Abnahme ist nicht durch Einflüsse der Ausbreitungsbedingungen erklärbar, sondern weist eher auf den Spüleffekt (Bindung des aufwirbelbaren Staubes) hin. Die Reduktion durch die Straßenspülung entspricht der durch Regen. Dies ist plausibel, da in beiden Fällen die Bedingungen auf der Straße (jeweils nasse Fahrbahn) gleich sind.

Wenn überhaupt ein Minderungseffekt durch Straßenspülungen im Bereich der Neuenlander Straße vorliegt, dann konnte dieser entsprechend der durchgeführten Auswertungen nur bei den ausgewerteten nächtlichen Lee-Wind-Situationen festgestellt werden. Dort lag der Minderungseffekt bei ca. 11 %. Da nachts die PM10-Emissionen ohnehin eher gering sind und Lee-Wind-Situationen nur einen Teil der gesamten Windsituationen ausmachen, lag bei Betrachtung des gesamten Auswertzeitraumes der Minderungseffekt 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 Neuenlander Straße lieferte somit bisher nicht den erhofften Minderungseffekt auf die PM10-Belastungen.

Eine Abschätzung des theoretisch maximalen Minderungspotenzials bei einem angenommenen ganztägigen Feuchthalten der Fahrbahn lieferte Reduktionen in einer Bandbreite zwischen ca. 24 % bis 38 % der PM10-Gesamtbelastung an Werktagen. Es ist dennoch hoch. Diese Werte sind allerdings mit Unsicherheiten behaftet, die von der Genauigkeit der LKW-Anteile, der festgelegten Verkehrssituation zur Berechnung der Emissionen, der Ableitung der PM10-Hintergrundbelastung (und damit des PM10-Verkehrsbeitrages) und insbesondere von der Genauigkeit der Emissionsfaktoren in den entsprechenden Emissionsmodellen abhängen.

Die aus den Messdaten abgeleitete Reduktion der PM10-Konzentrationen an Regentagen (ca. 12 bis 14 %) ist deutlich geringer als das aus o. g. Abschätzungen abgeleitete theoretisch maximale Minderungspotenzial. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass ein Regentag im Allgemeinen nicht bedeutet, dass die Straße über den gesamten Tag hin feucht war, wie es bei der Abschätzung des theoretisch maximalen Minderungspotenzials zugrunde gelegt wurde. Dies wird erfahrungsgemäß im betrachteten Auswertzeitraum eher die Ausnahme gewesen sein. Ein höheres Minderungspotenzial bei ganztägigem Feuchthalten der Straße als an den Regentagen beobachtet wäre damit plausibel.

Für die nächtlichen Zusatzbelastungen ergab die theoretische Abschätzung des Minderungspotenziales Werte von ca. 50 bis 66 %. Beobachtet wurde allerdings nur eine Abnahme durch die Straßenspülungen von ca. 11 %, die in diesem Fall deutlich geringer als das theoretische Minderungspotenzial ist. Zu den möglichen Ursachen dieser Diskrepanz siehe die Diskussion zu den Unsicherheiten der Analysen oben. Da der Verkehrsbeitrag der PM10-Konzentrationen nachts wegen der geringeren Verkehrsstärken deutlich geringer ist als im Tagesmittel, sind allerdings die Unsicherheiten in der abgeleiteten Reduktion noch größer als für den Tagzeitraum. Auch die gesperrte, nicht von der Straßenspülung beeinflusste und somit immer stark staubbeladene Rechtsabbiegespur könnte einen negativen Einfluss auf die Minderungen gehabt haben.

9 LITERATUR

22. BImSchV (2002): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte). In: BGBl. I Nr. 66 vom 17.09.2002, S. 3626.

Deutscher Wetterdienst Hannover (2005): Tägliche und stündliche Niederschlagshöhen für den Zeitraum vom 01.06.2005 bis 30.09.2005 der Station Bremen-Flughafen. Auskunft vom 25.10.2005.

Düring, I., Lohmeyer, A. (2004): Modellierung nicht motorbedingter PM10-Emissionen von Straßen. KRdL-Experten-Forum „Staub und Staubinhaltsstoffe“, 10./11.11.2004, Düsseldorf. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, KRdL-Schriftenreihe Band 33.

Entsorgung Nord GmbH (ENO) Bremen (2005): Einsatz des Spülfahrzeuges zum Straßenaschen. Schriftverkehr vom 10.10.2005.

Senator für Bau, Umwelt und Verkehr. Abteilung Verkehr (2005a): Verkehrsmengen Neuenlander Straße. Schriftverkehr vom 20.10.2005.

Senator für Bau, Umwelt und Verkehr. Abteilung Verkehr (2005b): Abstimmung über Korrektur der Verkehrsmengen Neuenlander Straße. Schriftverkehr vom 10.11.2005.

Senator für Bau, Umwelt und Verkehr (2005c): Lage der BLUES-Messstationen. Unter: <http://www.umwelt.bremen.de/buisy/scripts/buisy.asp?Doc=Karte+-+Informationen+zu+den+Me%Dfpunkten>; Stand: 01.11.2005

Senator für Bau, Umwelt und Verkehr (2005d): Bild des BLUES-Messcontainers in Neuenlander Straße. Unter: <http://www.umwelt.bremen.de/buisy/scripts/buisy.asp?doc=LU+Messortbeschreibung+der+Station+Bremen+Verkehr+2>; Stand: 01.11.2005.

Senator für Bau, Umwelt und Verkehr. Referat 22 - Immissionsschutz, Umweltchemikalien (2005e): Abstimmung über Hintergrundmessstelle für die Neuenlander Straße. Schriftverkehr vom 08.11.2005.

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.