



# **Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart Teilplan Ludwigsburg**

## **Anhang**

**Berechnung der immissionsseitigen Auswirkungen  
von verkehrlichen Maßnahmen des  
Luftreinhalte-/Aktionsplans Ludwigsburg  
Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe, März 2006**



**Baden-Württemberg**  
REGIERUNGSPRASIDIUM STUTTGART



**Ingenieurbüro Lohmeyer  
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,  
Aerodynamik, Umweltsoftware**

An der Roßweid 3, D-76229 Karlsruhe

Telefon: +49 (0) 721 / 6 25 10 - 0

E-Mail: [info.ka@lohmeyer.de](mailto:info.ka@lohmeyer.de)

URL: [www.lohmeyer.de](http://www.lohmeyer.de)

**Messstelle nach §§ 26, 28 BImSchG**

**BERECHNUNG DER IMMISSIONS-  
SEITIGEN AUSWIRKUNGEN VON VER-  
KEHRLICHEN MASSNAHMEN DES  
LUFTREINHALTE-/AKTIONSPLANS  
LUDWIGSBURG**

Auftraggeber: Regierungspräsidium Stuttgart  
Postfach 800709  
70507 Stuttgart

Dipl.-Geogr. T. Nagel  
Dipl.-Ing. S. Drautz

Dr.-Ing. W. Bächlin

März 2006  
Projekt 60555-05-01  
Berichtsumfang 51 Seiten

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN .....</b>	<b>1</b>
<b>1 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2 AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>7</b>
<b>3 EINGANGSDATEN UND EMISSIONSFAKTOREN.....</b>	<b>8</b>
3.1 Lagedaten.....	8
3.2 Verkehr .....	8
3.3 Fahrzeugflotte.....	10
3.4 Emissionsfaktoren .....	16
3.4.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren .....	17
3.4.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren .....	18
3.4.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen .....	18
3.5 Meteorologische Daten.....	20
<b>4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN .....</b>	<b>22</b>
4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte.....	22
4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen.....	22
<b>5 LITERATUR .....</b>	<b>35</b>
<b>A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION.....</b>	<b>39</b>
<b>A2 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSTRASSEN- NETZ .....</b>	<b>45</b>

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  $\mu\text{g}$  (oder  $\text{mg}$ ) Schadstoff pro  $\text{m}^3$  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  $\text{mg}/\text{m}^3$  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 Immissionskenngrößen 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 (oder 98-Prozent-Wert) 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 NO<sub>2</sub> Konzentrationen von 200 µg/m<sup>3</sup>, der in nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf und des Tagesmittelwertes der PM10-Konzentration von 50 µg/m<sup>3</sup>, 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.

### **Feinstaub / PM10**

Mit Feinstaub bzw. PM10 werden alle Partikel bezeichnet, die einen größenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.

**Emissionsgrenzwerte für Partikel und NO<sub>x</sub> mit Geltungsjahr**

		<b>Euro 1</b>	<b>Euro 2</b>	<b>Euro 3</b>	<b>Euro 4</b>	<b>Euro 5</b>
<b>PKW</b>	Jahr	1993	1996/97	2000	2005	
	Partikel [g/km]	0.14	0.08	0.05	0.025	-
	Jahr	1992	1996	2000	2005	-
	NO <sub>x</sub> Diesel [g/km]	-	-	0.50	0.25	-
	NO <sub>x</sub> Benzin [g/km]	-	-	0.15	0.08	-
<b>LKW</b>	Jahr	1992/93	1995/96	2000/01	2005	2008
	Partikel [g/kWh]	0.4	0.15	0.10	0.02	0.02
	Jahr	1992	1998	2000	2005	2008
	NO <sub>x</sub> [g/kWh]	9.0	7.0	5.0	3.5	2.0

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Der Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart, Teilplan Ludwigsburg, nennt Maßnahmen zur Verringerung der Luftschadstoffbelastungen. Für folgende Maßnahmen wurden Berechnungen der zu erwartenden Minderungen der Immissionen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführt, wobei die Maßnahmen M1 und M2 gegenüber der Entwurfsfassung des Luftreinhalte-/Aktionsplans für Ludwigsburg (Stand August 2005) entsprechend dem aktuell vorliegenden Entwurf der Kennzeichnungsverordnung abgeändert wurden:

- M1**      Ganzjähriges Fahrverbot in Ludwigsburg ab dem 01.07.2007 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung
- M2**      Ganzjähriges Fahrverbot in Ludwigsburg ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung

Für die Hauptverkehrsstraßen in Ludwigsburg werden die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen berechnet. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes von Ludwigsburg und Umgebung werden unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1, Stand 2004 und mit den neuesten Erkenntnissen bezüglich Anteilen von Abrieb und Aufwirbelung an PM10 die Änderungen der Emissionen und darauf basierend der Immissionen gegenüber dem Referenzfall aufgezeigt. Betrachtet werden die Schadstoffe NO<sub>2</sub> und PM10, ergänzend auch die Rußbelastungen.

Für die Prognose der Auswirkungen der Maßnahmen werden im ersten Schritt die Änderungen der Emissionen, d.h. der Schadstofffreisetzungen in den Straßenabschnitten, und im zweiten Schritt die Änderungen der Immissionen berechnet. Da sich die Maßnahmen auf unterschiedliche Jahre beziehen, werden zusätzlich die jeweiligen Jahre ohne berücksichtigte Maßnahmen betrachtet. Die Auswertungen beziehen sich im Wesentlichen auf die Straßenabschnitte der Friedrichstraße (West), Friedrichstraße (Ost), Schorndorfer Straße und Frankfurter Straße, an denen Immissionsmessdaten der SPOT-Messungen vorliegen.

Für die NO<sub>x</sub>-Emissionen sind gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2007, mit der Maßnahme M1 ca. 98 %, im Nullfall 2012 ca. 71 % bis 74 % und mit der Maßnahme M2 ca. 66 % bis 70 % der Emissionen zu erwarten. Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die Reduk-



tionen der NO<sub>x</sub>-Emissionen ohne Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen.

Die PM10-Emissionen weisen gegenüber dem Referenzzustand mit der Maßnahme M1 ca. 94 % bis 96 %, im Nullfall 2012 ca. 87 % bis 91 % und mit der Maßnahme M2 ca. 85 % bis 89 % der PM10-Emissionen auf. Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die Verringerungen der PM10-Emissionen ohne Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen.

Die Rußemissionen beschreiben überwiegend einen Teil der motorbedingten Partikelemissionen. Sie weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand mit der Maßnahme M1 88 % bis 91 %, im Nullfall 2012 ca. 77 % bis 83 % und mit der Maßnahme M2 ca. 71 % bis 78 % der Emissionen auf. Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die Reduktionen der Rußemissionen ohne Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen.

Die relativen Auswirkungen auf die Immissionen sind gegenüber den Emissionen geringer, da auch nicht verkehrsbedingte Beiträge in den Luftschadstoffbelastungen enthalten sind.

Für den Nullfall 2007 werden an den SPOT-Messstationen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen über 50 µg/m<sup>3</sup> und damit vergleichbare Immissionen mit dem derzeitigen Zustand berechnet. Gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2007, weisen die NO<sub>2</sub>-Belastungen an den straßennahen Standorten mit der Maßnahme M1 praktisch unveränderte Belastungen, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 88 % bis 90 % und mit der Maßnahme M2 86 % bis 88 % der Gesamtbelastungen auf. Mit der Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 sind deutliche Minderungen der verkehrsbedingten NO<sub>2</sub>-Beiträge zu erwarten, die allerdings entsprechend den Berechnungen an den betrachteten Straßenabschnitten nicht zur Einhaltung des ab 2010 geltenden Grenzwertes von 40 µg/m<sup>3</sup> führen. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer geringen Verringerung der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastungen.

Die berechneten PM10-Immissionen an den straßennahen Standorten verringern sich gegenüber dem Referenzzustand mit der Maßnahme M1 auf 97 % bis 99 %, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen auf 95 % bis 97 % und mit der Maßnahme M2 auf 93 % bis 97 % der

Gesamtbelastungen. Mit der Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 und mit den beschriebenen Maßnahmen der Kennzeichnungsverordnung sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten PM10-Beiträge zu erwarten.

Aus den berechneten PM10-Jahresmittelwerten an den Hauptverkehrsstraßen in Ludwigsburg werden mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Grenzwert) ab PM10-Jahresmittelwerten von  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  abgeleitet. Danach ist von den betrachteten Straßenmessstandorten nur an der Schorndorfer Straße eine Einhaltung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes zu erwarten.

Gegenüber dem Referenzzustand weisen die Rußimmissionen an den straßennahen Standorten mit der Maßnahme M1 92 % bis 96 %, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 85 % bis 92 % und mit der Maßnahme M2 81 % bis 89 % der Gesamtbelastungen auf. Der motorbedingte Anteil der Rußpartikelbelastungen wird gegenüber den PM10-Immissionen intensiver durch die Maßnahmen verringert.

Insgesamt ist aus den Ergebnissen der Berechnungen zu schließen, dass die geplanten Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung zu Verringerungen der verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastungen führen können; die Auswirkungen der genannten Maßnahmen sind gegenüber den Auswirkungen durch die Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 geringer einzustufen.

## 2 AUFGABENSTELLUNG

Für den Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart, Teilplan Ludwigsburg, wurde eine Maßnahmenliste in Abstimmung mit Fachgremien erarbeitet, für die teilweise qualitative Einschätzungen der immissionsseitigen Auswirkungen vorliegen. Für einige der genannten Maßnahmen sind immissionsseitige Berechnungen der zu erwartenden Minderungen der Immissionen durchzuführen.

Das sind folgend genannte Maßnahmen des Luftreinhalte-/Aktionsplans Ludwigsburg. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Maßnahmen M1 und M2 gegenüber der Entwurfsfassung des Luftreinhalte-/Aktionsplans für Ludwigsburg (Stand August 2005) entsprechend dem aktuell vorliegenden Entwurf der Kennzeichnungsverordnung abgeändert wurden. Die Bundesregierung hat im Februar 2006 den Entwurf einer Kennzeichnungsverordnung vorgelegt, die über die Ausgabe von Plaketten die Kfz hinsichtlich dem Schadstoffausstoß kennzeichnet.

- M1**      Ganzjähriges Fahrverbot in Ludwigsburg ab dem 01.07.2007 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung
  
- M2**      Ganzjähriges Fahrverbot in Ludwigsburg ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung

Für die Hauptverkehrsstraßen in Ludwigsburg werden die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen berechnet. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes von Ludwigsburg und Umgebung werden unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1, Stand 2004 und mit den neuesten Erkenntnissen bezüglich Anteilen von Abrieb und Aufwirbelung an PM10 die Änderungen der Emissionen und darauf basierend der Immissionen gegenüber dem Referenzfall aufgezeigt.

Betrachtet werden die Schadstoffe NO<sub>2</sub> und PM10, ergänzend auch die Rußbelastungen.

### 3 EINGANGSDATEN UND EMISSIONSFAKTOREN

Für die immissionsseitige Berechnung der Auswirkungen der Maßnahmen werden basierend auf den Verkehrsbelegungsdaten die auf den einzelnen Abschnitten freigesetzten Emissionen bestimmt und der Ausbreitungsrechnung zugeführt.

#### 3.1 Lagedaten

Das Stadtgebiet von Ludwigsburg liegt nördlich des Stadtgebietes von Stuttgart und ist dem Ballungsgebiet der Region Stuttgart zuzuordnen. Direkt westlich des Stadtgebietes verläuft die von Süden nach Norden orientierte Autobahn A 81 mit den Anschlussstellen Ludwigsburg Nord und Ludwigsburg Süd. Die Lage des Betrachtungsgebietes im Stadtgebiet von Ludwigsburg ist in **Abb. 3.1** aufgezeigt. In der Abbildung sind neben der Station Ludwigsburg des Landesmessnetzes Baden-Württemberg auch straßennahe Messstationen, die sogenannten „Spot“-Messungen, eingetragen.

#### 3.2 Verkehr

Für die Betrachtungen der verkehrsbedingten Maßnahmen zum Luftreinhalte-/Aktionsplan Ludwigsburg wurden durch den Auftraggeber Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt. Das sind für das Plangebiet mit direkter Umgebung Angaben der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV) und des LKW-Anteils.

Für das Stadtgebiet von Ludwigsburg bestehen mehrere Datengrundlagen für den Kfz-Verkehr. Mit der Erarbeitung des Luftreinhalte-/Aktionsplans für die Landeshauptstadt Stuttgart wurden auch aktualisierte Verkehrsbelegungsdaten vorgelegt, insbesondere über den Wirtschaftsverkehr in der Region Stuttgart (PTV, 2005). Die Verkehrsbelegungsdaten liegen damit für das Jahr 2005 als Bestandsdaten und für das Jahr 2010 als Prognosedaten auch für das Stadtgebiet von Ludwigsburg vor. Diese digital vorliegenden Daten enthalten Angaben über die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) und über die Anzahl der LKW-Fahrten.

Die Stadtverwaltung Ludwigsburg hat sich durch einen Verkehrsgutachter ein Verkehrsnetz erarbeiten lassen, das DTV-Angaben für das Jahr 2003 und als Prognose für das Jahr 2015 beinhaltet. Angaben zum LKW-Verkehr sind darin nicht gesondert enthalten.

Der Vergleich der beiden DTV-Angaben auf den wesentlichen Hauptverkehrsstraßen in Ludwigsburg zeigt für den derzeitigen Zustand überwiegend nur geringe Abweichungen.

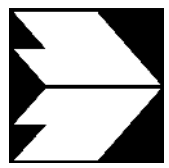
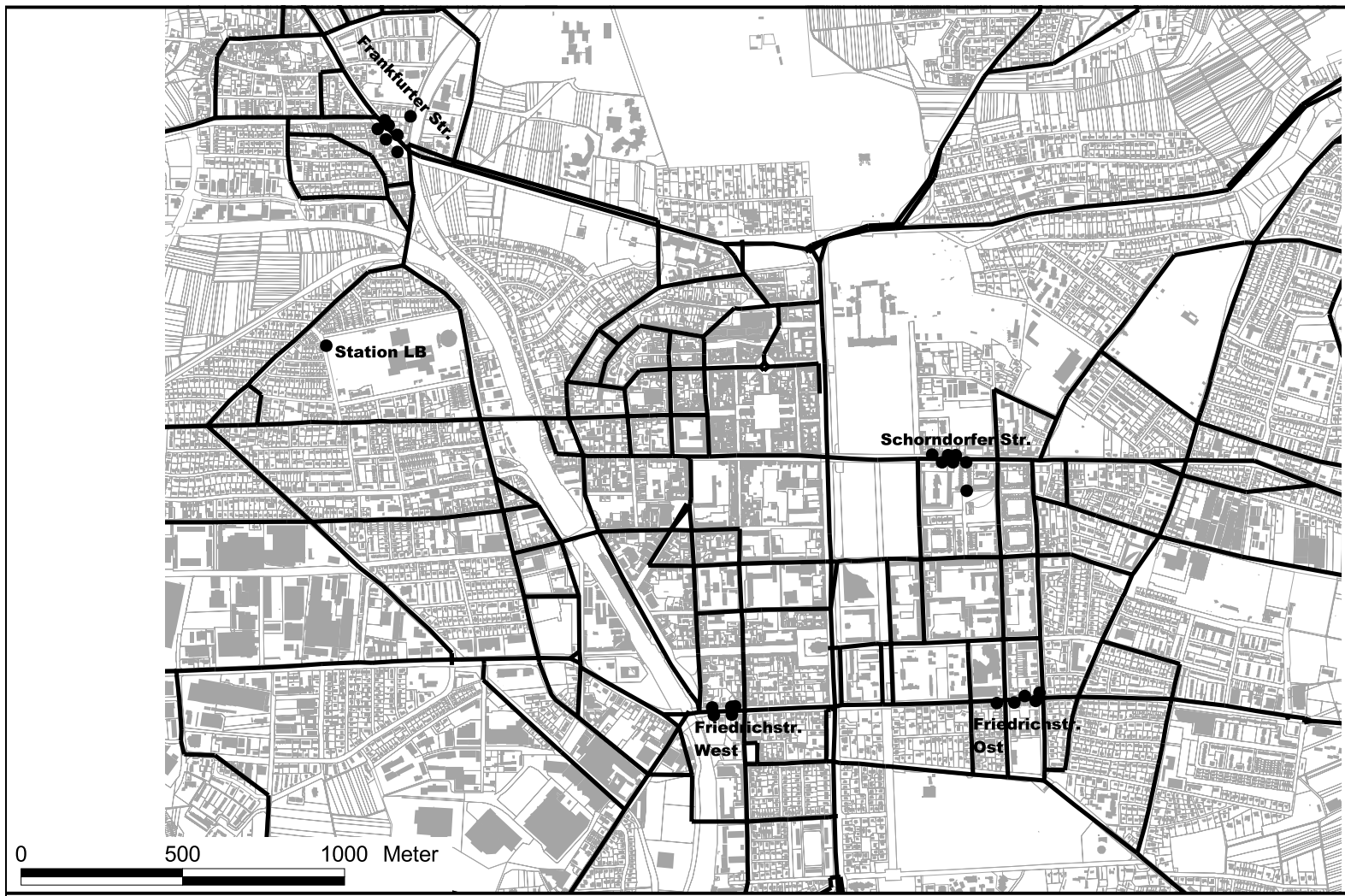


Abb. 3.1: Lageplan des Untersuchungsgebietes mit Standorten der Messstationen

Dementsprechend werden die Verkehrsdaten mit Angabe des DTV und der LKW-Fahrten (PTV, 2005) als Datengrundlage herangezogen.

Die Verkehrsdaten für den derzeitigen Zustand werden nur zur Kontrolle verwendet, d.h. mit den Verkehrsdaten und den berechneten Emissionen für das Jahr 2005 werden die Immissionen an den Standorten der Messstationen berechnet und mit den Messdaten verglichen.

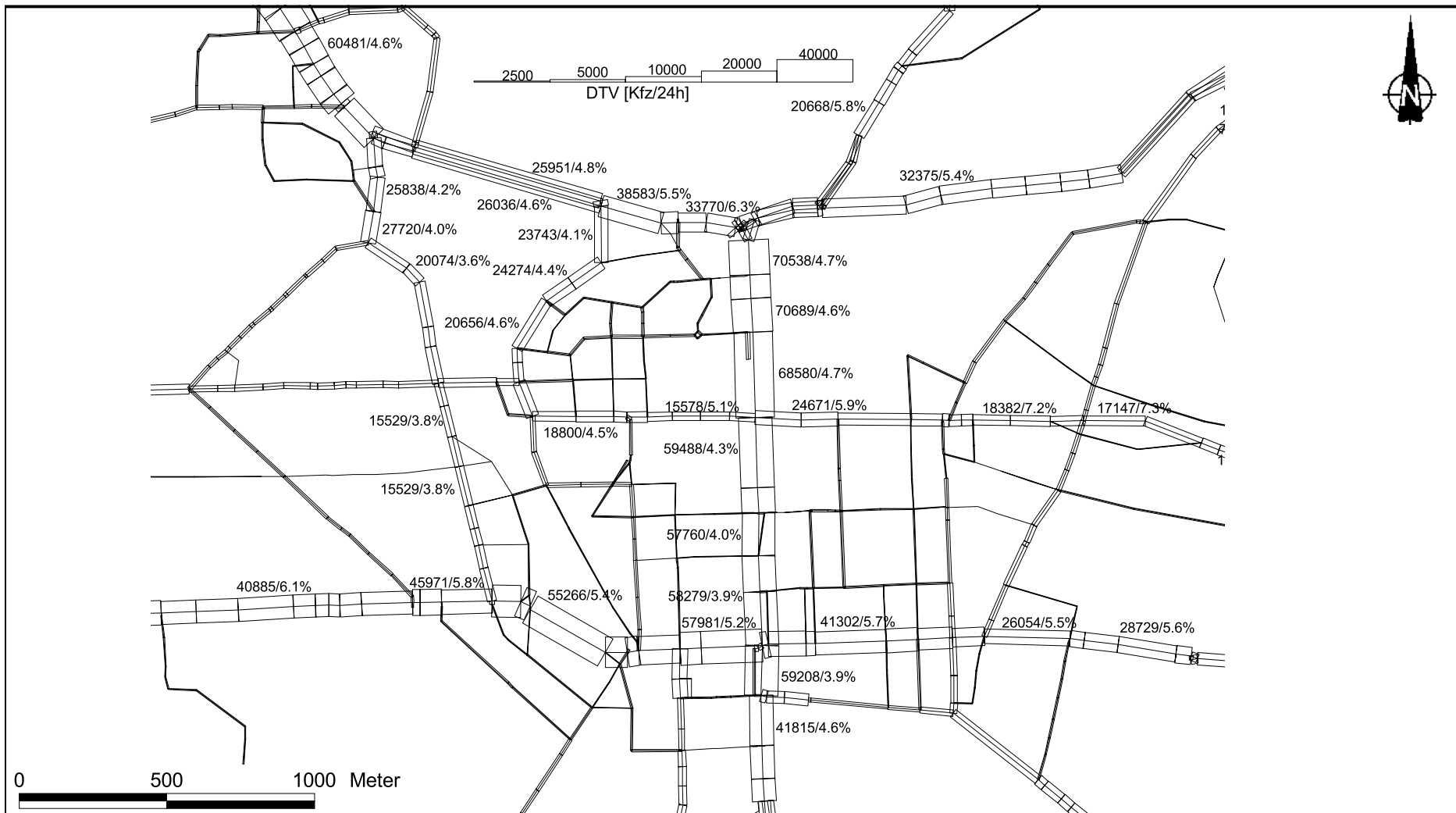
Alle betrachteten Maßnahmen und Nullfälle basieren auf den prognostizierten Verkehrsbelegungsdaten, d.h. gegenüber dem derzeitigen Zustand wird eine allgemeine Erhöhung der Verkehrsstärken berücksichtigt. Der Prognosehorizont der Verkehrsbetrachtungen wird mit 2010 angegeben, diese Daten werden hier auch für die Bezugsjahre 2007 und 2012 angesetzt. Dementsprechend werden der Nullfall 2007 und der Nullfall 2012 mit gleichen Verkehrsbelegungsdaten angesetzt unter der Annahme, dass keine der genannten Maßnahmen umgesetzt wäre. Diese beiden Nullfälle werden als Vergleichszustände angesehen und dienen dem relativen Vergleich zur Beschreibung der Wirkungen der Maßnahmen. Die Verkehrsdaten für das Jahr 2010 sind in **Abb. 3.2** aufgezeigt.

Die Maßnahmen **M1** - Ganzjähriges Fahrverbot in Ludwigsburg ab dem 01.07.2007 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung- und **M2** – Ganzjähriges Fahrverbot in Ludwigsburg ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung – werden auf der Grundlage der Verkehrsdaten des Nullfalles berechnet. Dabei wird in dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass die Anzahl der Fahrten nicht verändert wird, sondern nur die Fahrzeugflotte variiert.

Für die Standorte der SPOT-Messstationen in Ludwigsburg sind die Verkehrsbelegungsdaten ausgedrückt als Anzahl der Fahrzeuge pro Tag in **Abb. 3.3** aufgezeigt. Die Angabe der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) beinhaltet alle Kfz; ergänzend ist die durchschnittliche tägliche Anzahl der LKW-Fahrten aufgeführt.

### 3.3 Fahrzeugflotte

Die Zusammensetzungen der dynamischen Fahrzeugflotten, d.h. die Zusammensetzung der auf den Straßen verkehrenden Fahrzeuge, sind dem HBEFA für die zu betrachtenden Bezugsjahre 2007 und 2012 entnommen und für den innerörtlichen Bereich in **Abb. 3.4** aufgezeigt. Dabei ist zu beachten, dass die dynamische Fahrzeugflotte nicht direkt vergleichbar ist mit den Bestandszahlen für eine Region, die die statische Flottenzusammensetzung basierend auf den Zulassungszahlen angibt. Für Baden-Württemberg wurden durch



0 500 1000 Meter

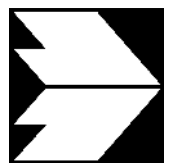


Abb. 3.2: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in [Kfz/24h] und LKW-Anteil [%] auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für das Jahr 2010

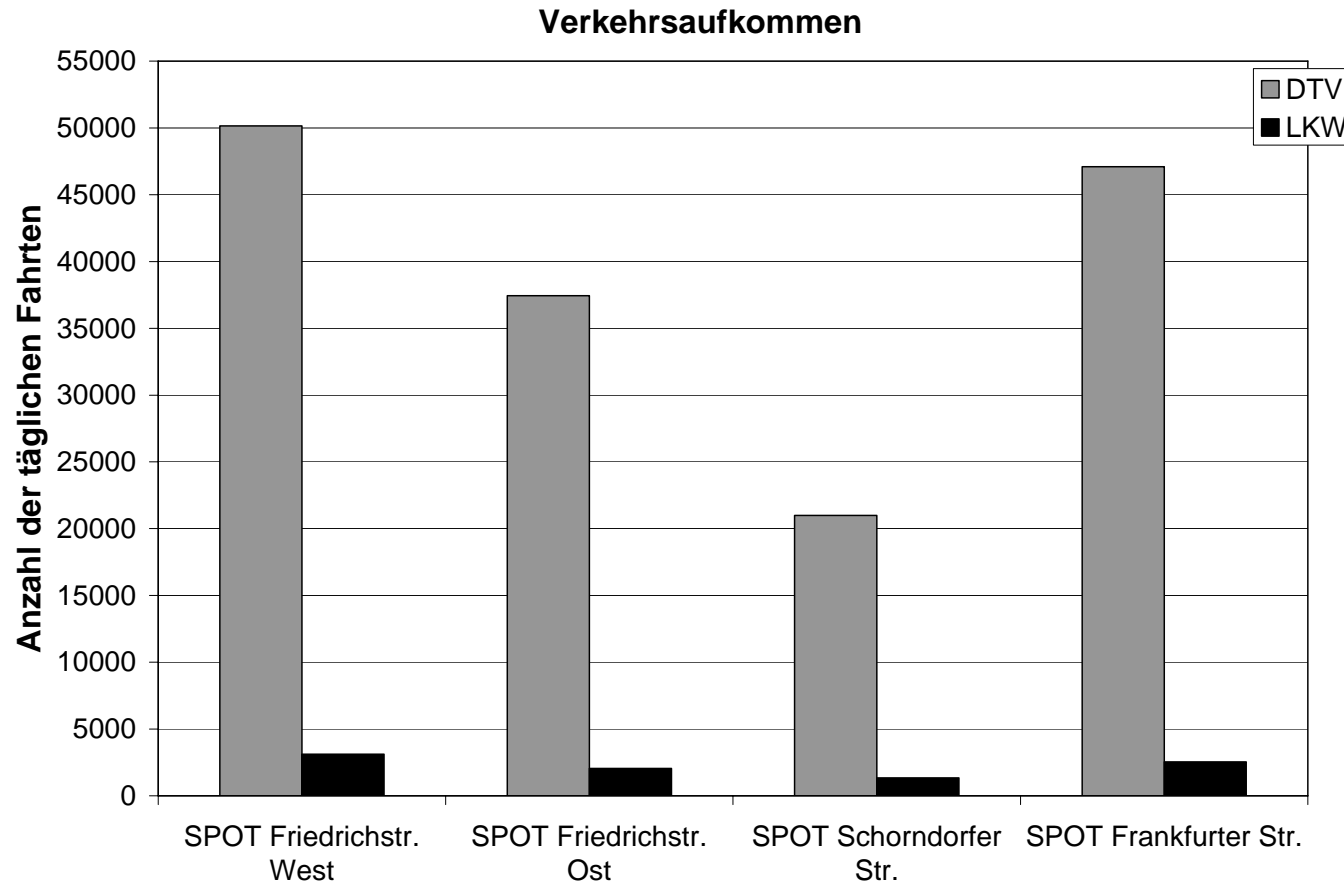


Abb. 3.3: Verkehrsbelegung an den SPOT-Messstationen in Ludwigsburg



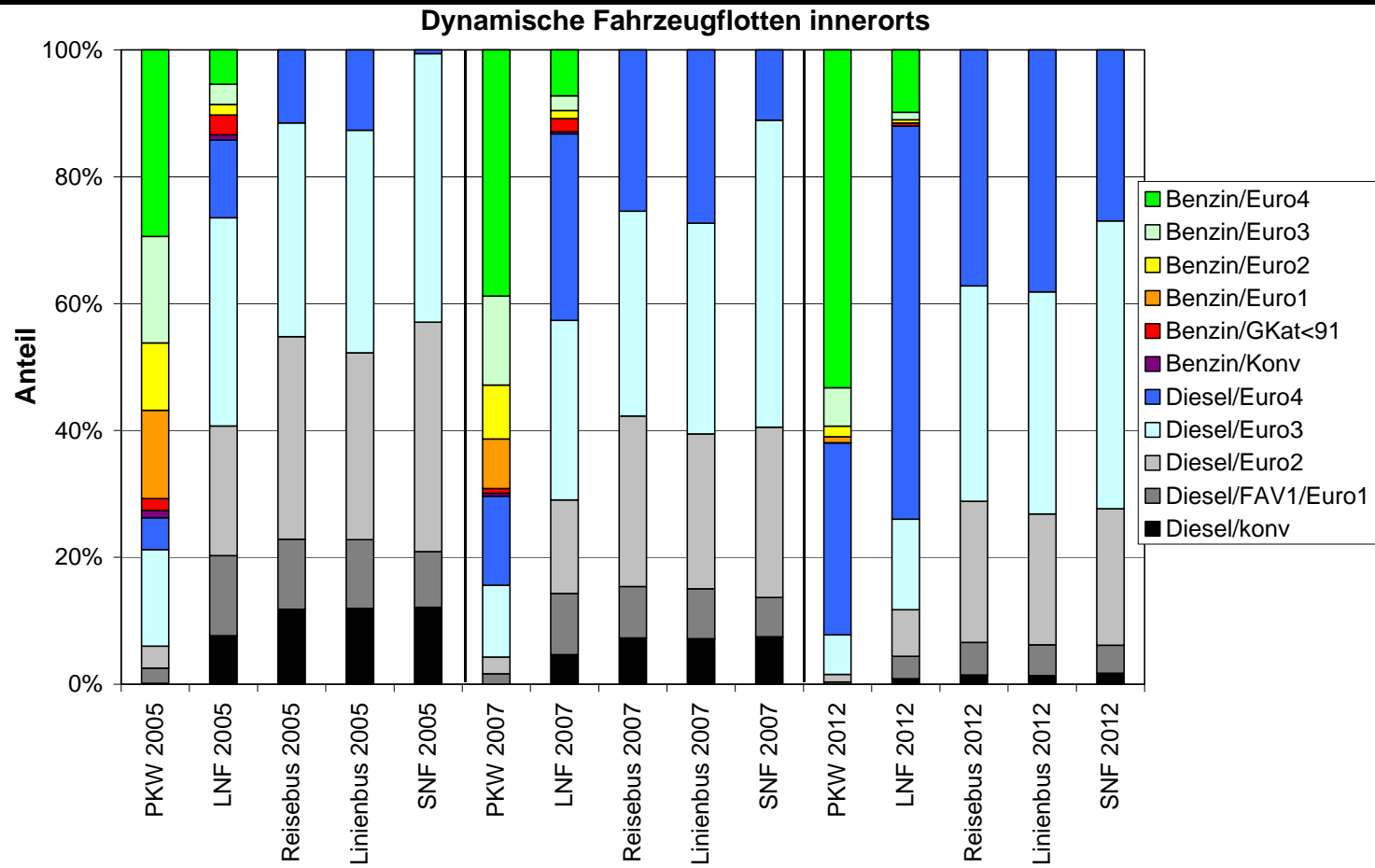


Abb. 3.4: Zusammensetzung der dynamischen Kfz-Flotte für die Jahre 2005, 2007 und 2012 entsprechend HBEFA, unterteilt nach PKW, leichte Nutzfahrzeuge (LNF), Reisebusse, Linienbusse und schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

das Regierungspräsidium Stuttgart Bestandszahlen für die Jahre 2005, 2007 und 2012 zur Verfügung gestellt, die verglichen mit den dynamischen Fahrzeugflotten im HBEFA für innerörtliche Bereiche sehr geringe Abweichungen aufweisen. Dementsprechend werden die Emissionsberechnungen auf der Grundlage der Daten und Flottenzusammensetzungen des HBEFA durchgeführt.

Der Anteil der dieselbetriebenen PKW-Fahrten umfasst im Jahr 2005 ca. 26.2 %, im Jahr 2007 ca. 29.7 % und im Jahr 2012 ca. 38.1 %; der Anteil der dieselbetriebenen leichten Nutzfahrzeugfahrten umfasst im Jahr 2005 ca. 85.8 %, im Jahr 2007 ca. 86.8 % und im Jahr 2012 ca. 88 %; bei den Bussen und schweren Nutzfahrzeugen setzen sich die Fahrten ausschließlich aus dieselbetriebenen zusammen.

Für die Maßnahmen **M1** und **M2** werden die in der Datengrundlage (HBEFA) beschriebenen Zusammensetzungen der Fahrzeugflotten verändert, indem die vom Fahrverbot betroffenen Fahrzeugarten aus der Fahrzeugflotte ausgeschlossen werden. In **Abb. 3.5** sind die prozentualen Anteile der Fahrten im Innerortsverkehr aufgezeigt, die von dem Fahrverbot betroffen sind.

Von den PKW-Fahrten sind im Jahr 2007 durch die Maßnahme **M1** ca. 2.1 % der Fahrten vom Fahrverbot betroffen, die sich zu ca. 0.5 % der Fahrten mit Ottomotoren und zu ca. 1.6 % der Fahrten mit Dieselmotoren zusammensetzen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 14.6 % der Lieferwagenfahrten und ca. 13.5 % der LKW-Fahrten betroffen. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme wird berücksichtigt, dass im Wirtschaftsverkehr nur notwendige Fahrten durchgeführt werden und deshalb eine vollständige Verlagerung der Fahrten auf Fahrzeuge erfolgt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden. Bei den PKW-Fahrten ist nur ein kleiner Anteil der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Hier kann angenommen werden, dass diese Fahrten zum Teil durch Fahrten mit Fahrzeugen ersetzt werden, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind oder ganz entfallen. Aufgrund des geringen Anteils der möglicherweise entfallenden Fahrten wurde keine erneute Verkehrsumlegung durchgeführt. Für den PKW-Verkehr wird ebenfalls rechnerisch eine Änderung der Fahrzeugflotte durchgeführt.

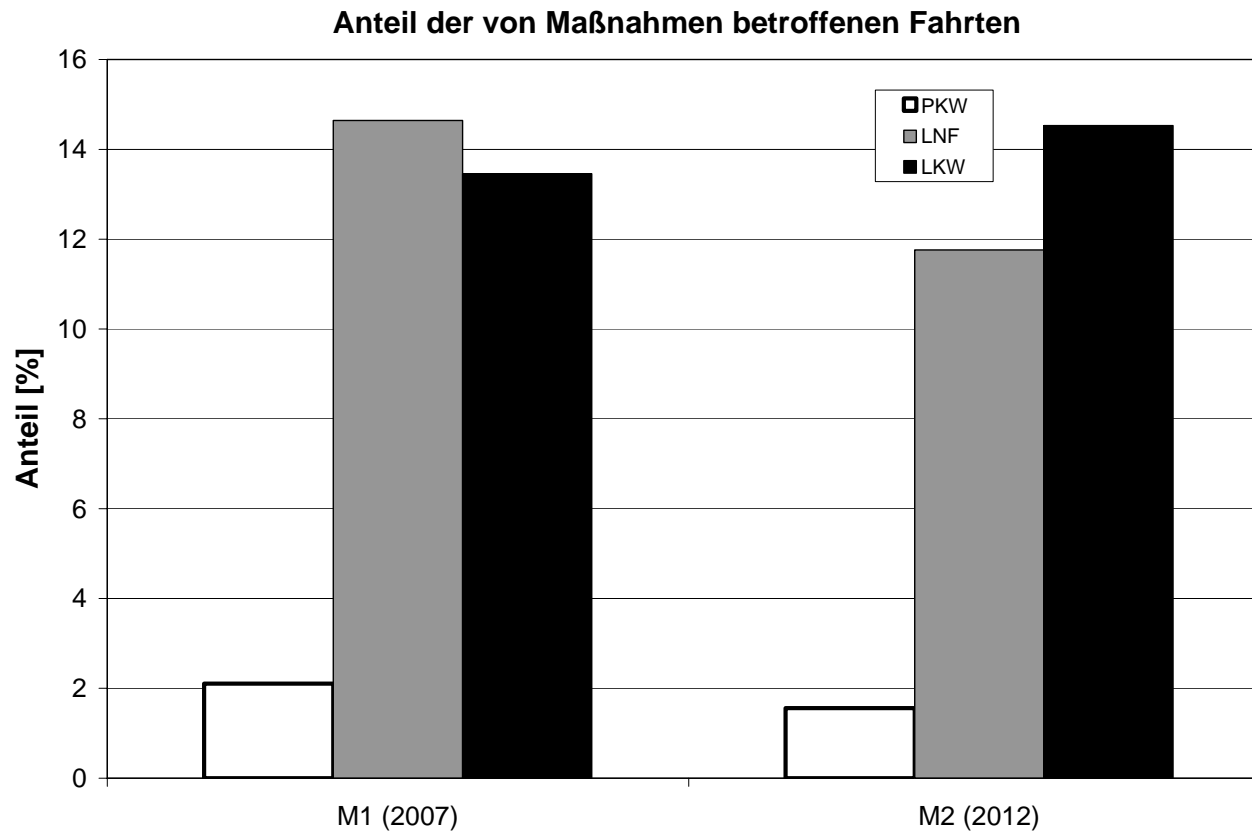


Abb. 3.5: Anteil der von den Fahrverboten der Maßnahmen M1 und M2 betroffenen Fahrten getrennt für PKW, Lieferwagen (LNF) und LKW

Von den PKW-Fahrten sind im Jahr 2012 durch die Maßnahme **M2** ca. 1.6 % der Fahrten vom Fahrverbot betroffen, die sich zu unter 0.1 % der Fahrten mit Ottomotoren und zu unter 1.6 % der Fahrten mit Dieselmotoren zusammensetzen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 11.8 % der Lieferwagenfahrten und ca. 14.5 % der LKW-Fahrten betroffen. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme wird berücksichtigt, dass im Wirtschaftsverkehr nur notwendige Fahrten durchgeführt werden und deshalb eine vollständige Verlagerung der Fahrten auf Fahrzeuge erfolgt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden. Bei den PKW-Fahrten ist nur ein kleiner Anteil der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Hier kann angenommen werden, dass diese Fahrten zum Teil durch Fahrten mit Fahrzeugen ersetzt werden, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind oder ganz entfallen. Aufgrund des geringen Anteils der möglicherweise entfallenden Fahrten wurde keine erneute Verkehrsumlegung durchgeführt. Für den PKW-Verkehr wird ebenfalls rechnerisch eine Änderung der Fahrzeugflotte durchgeführt.

### 3.4 Emissionsfaktoren

Zur Ermittlung der Emissionen werden die Verkehrsdaten und für jeden Luftschadstoff so genannte Emissionsfaktoren benötigt. Die Emissionsfaktoren sind Angaben über die pro mittlerem Fahrzeug der Fahrzeugflotte und Straßenkilometer freigesetzten Schadstoffmengen. Im vorliegenden Gutachten werden die Emissionsfaktoren für die Fahrzeugarten PKW und LKW unterschieden. Die Fahrzeugart PKW enthält dabei die leichten Nutzfahrzeuge (INfz) und Motorräder, die Fahrzeugart LKW versteht sich inklusive Lastkraftwagen, Sattelschlepper, Busse usw.

Die Emissionsfaktoren setzen sich aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen. Die Ermittlung der motorbedingten Emissionen erfolgt entsprechend der VDI-Richtlinie „Kfz-Emissionsbestimmung“ (VDI, 2003).

Im Folgenden werden Grundlagen der „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ Emissionsfaktoren beschrieben, dann erfolgt die Anwendung für Ludwigsburg im Zusammenhang mit möglichen Emissionsminderungen.

### 3.4.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mithilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 2.1 (UBA, 2004) berechnet. Sie hängen für die Fahrzeugarten PKW und LKW im Wesentlichen ab von

- den so genannten Verkehrssituationen („Fahrverhalten“), das heißt der Verteilung von Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung, Häufigkeit und Dauer von Standzeiten
- der sich fortlaufend ändernden Fahrzeugflotte (Anteil Diesel etc.),
- der Zusammensetzung der Fahrzeugschichten (Fahrleistungsanteile der Fahrzeuge einer bestimmten Gewichts- bzw. Hubraumklasse und einem bestimmten Stand der Technik hinsichtlich Abgasemission, z. B. EURO 2, 3, ...) und damit vom Jahr, für welches der Emissionsfaktor bestimmt wird (= Bezugsjahr),
- der Längsneigung der Fahrbahn (mit zunehmender Längsneigung nehmen die Emissionen pro Fahrzeug und gefahrenem Kilometer entsprechend der Steigung deutlich zu, bei Gefällen weniger deutlich ab) und
- dem Prozentsatz der Fahrzeuge, die mit nicht betriebswarmem Motor betrieben werden und deswegen teilweise erhöhte Emissionen (Kaltstarteinfluss) haben.

Die Zusammensetzung der Fahrzeuge innerhalb der Fahrzeugkategorien wird für das zu betrachtende Bezugsjahr dem HBEFA (UBA, 2004) entnommen. Darin ist die Gesetzgebung bezüglich Abgasgrenzwerten (EURO 2, 3, ...) berücksichtigt. Die Längsneigungen der Straßen sind dem digitalen Geländemodell entnommen, der Kaltstarteinfluss innerorts für PKW wird entsprechend HBEFA angesetzt, der Kaltstarteinfluss für LKW wird aus UBA (1995) entnommen.

In der Studie „Auswirkungen neuer Erkenntnisse auf die Berechnungen der Partikel- und NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs“ (IFEU, 2004) wird u.a. auf aktualisierte Entwicklungen der dynamischen Fahrzeugflotte eingegangen. Danach werden im PKW-Verkehr verstärkt Fahrten mit Dieselmotoren durchgeführt. Die Autoren der Studie beziffern die Auswirkungen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen der PKW und der leichten Nutzfahrzeuge für das Jahr 2005 mit einem Zuwachs um ca. 18 % und für das Jahr 2010 um ca. 21 %. Diese aktualisierten Informationen werden hier bei der Emissionsberechnung berücksichtigt.

### 3.4.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren

Untersuchungen der verkehrsbedingten Partikelimmissionen zeigen, dass neben den Partikeln im Abgas auch nicht motorbedingte Partikelemissionen zu berücksichtigen sind, hervorgerufen durch Straßen-, Kupplungs- und Bremsbelagabrieb, Aufwirbelung von auf der Straße aufliegendem Staub etc. Diese Emissionen sind im HBEFA nicht enthalten, sie sind auch derzeit nicht mit zufriedenstellender Aussagegüte zu bestimmen. Die Ursache hierfür liegt in der Vielfalt der Einflussgrößen, die bisher noch nicht systematisch parametrisiert wurden und für die es derzeit auch keine verlässlichen Aussagen gibt.

In der vorliegenden Untersuchung werden die PM<sub>10</sub>-Emissionen aus Abrieben (Reifen, Bremsen, Kupplung und Straßenbelag) und infolge der Wiederaufwirbelung (Resuspension) von Straßenstaub in Anlehnung an die in BAST (2005) sowie Düring und Lohmeyer (2004) beschriebene Vorgehensweise angesetzt. Es werden zur Berechnung der Emissionen für die Summe aus Reifen-, Brems-, Kupplungs- und Straßenabrieb sowie Wiederaufwirbelung von eingetragenem Straßenstaub die in **Tab. 3.1** und **Tab. 3.2** exemplarisch für die innerörtlichen Verkehrssituationen an den SPOT-Messstationen in Ludwigsburg aufgeführten Emissionsfaktoren verwendet.

Die Bildung von so genannten sekundären Partikeln wird im vorliegenden Fall nicht berücksichtigt, da dieser Prozess nur in großen Entfernungen (10 km bis 50 km) von den Schadstoffquellen dominiert (Filliger et al., 1999).

### 3.4.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen

Für die Maßnahmen **M1** und **M2** werden für die Bezugsjahre 2007 und 2012 die Emissionsfaktoren geändert, indem die Fahrzeugflottenzusammensetzung variiert wird. Dabei wurden die Anteile der Fahrten herausgenommen, die vom jeweiligen Fahrverbot betroffen sind. Die entfallenen Fahrten werden anteilmäßig auf die restlichen Fahrten entsprechend der bestehenden Verteilung auf die Fahrzeugkonzepte verteilt. Damit wird die Fahrzeugflotte erneuert; durch die anteilmäßige Aufteilung entsprechend der vorliegenden Verteilung wird berücksichtigt, dass auch gebrauchte Fahrzeuge die entfallenen ersetzen, also nicht immer die neuste verfügbare Technik eingesetzt wird.

Die an den SPOT-Messstationen in Ludwigsburg angesetzten Verkehrssituationen sowie die Längsneigungen der betrachteten Straßen (falls ungleich Null durch Unterstrich von den Verkehrssituationen getrennt) sind in **Tab. 3.1** und **Tab. 3.2** aufgeführt, klassifiziert wie im HBEFA (UBA, 2004) für Längsneigungsklassen in 2 %-Stufen. In diesen Tabellen ist ein Überblick über die zu diesen Verkehrssituationen gehörenden Emissionsfaktoren in den zu betrachtenden Bezugsjahren gegeben.

Verkehrssituation (Kürzel)	Geschwindigkeit [km/h]	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2007							
		NO <sub>x</sub>		Partikel (nur Abgas)		Partikel (nur Abrieb und Aufwirb.)		Ruß	
		PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
HVS3	39.1	0.296	7.451	0.0097	0.2095	0.04	0.38	0.0118	0.1158
HVS4	32.0	0.311	8.986	0.0100	0.2820	0.05	0.45	0.0120	0.1448
Kern_2Stau	19.9	0.447	10.657	0.0150	0.3979	0.05	0.45	0.0150	0.1912
M1-HVS3	39.1	0.283	7.369	0.0085	0.1725	0.04	0.38	0.0111	0.1010
M1-HVS4	32.0	0.298	8.908	0.0090	0.2297	0.05	0.45	0.0114	0.1239
M1-Kern_2Stau	19.9	0.433	10.628	0.0130	0.3156	0.05	0.45	0.0138	0.1582

Tab. 3.1: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den Messstationen in Ludwigsburg für das Bezugsjahr 2007 nach HBEFA und für die Maßnahme M1

Verkehrssituation (Kürzel)	Geschwindigkeit [km/h]	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2012							
		NO <sub>x</sub>		Partikel (nur Abgas)		Partikel (nur Abrieb und Aufwirb.)		Ruß	
		PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
HVS3	39.1	0.227	5.059	0.0085	0.1139	0.04	0.38	0.0111	0.0776
HVS4	32.0	0.239	6.116	0.0090	0.1515	0.05	0.45	0.0114	0.0926
Kern_2Stau	19.9	0.368	7.383	0.0129	0.2067	0.05	0.45	0.0137	0.1147
M2-HVS3	39.1	0.219	4.625	0.0077	0.1007	0.04	0.38	0.0106	0.0723
M2-HVS4	32.0	0.231	5.602	0.0081	0.1339	0.05	0.45	0.0109	0.0856
M2-Kern_2Stau	19.9	0.355	6.826	0.0115	0.1798	0.05	0.45	0.0129	0.1039

Tab. 3.2: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den Messstationen in Ludwigsburg für das Bezugsjahr 2012 nach HBEFA und für die Maßnahme M2

### 3.5 Meteorologische Daten

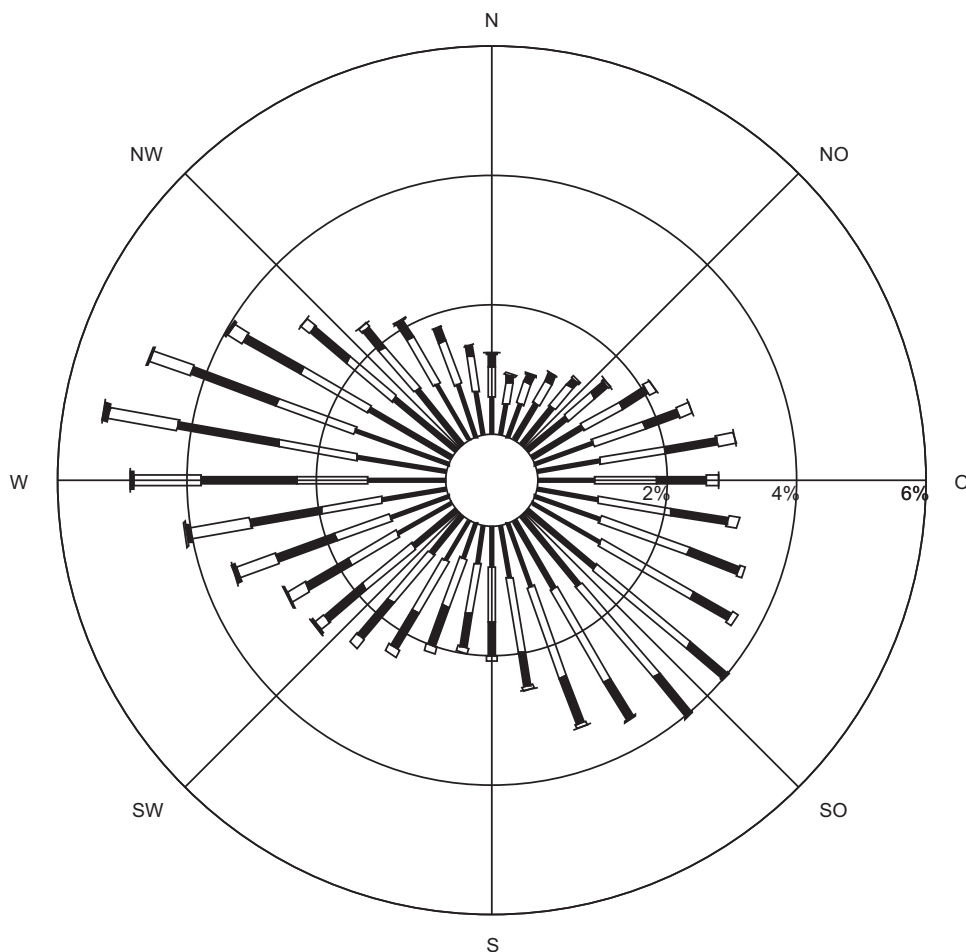
Für die Berechnung der Schadstoffimmissionen werden so genannte Ausbreitungsklassenstatistiken benötigt. Das sind Angaben über die Häufigkeit verschiedener Ausbreitungsverhältnisse in den unteren Luftschichten, die durch Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Stabilität der Atmosphäre definiert sind.

In Ludwigsburg werden an der Station des Landesmessnetzes auch Winddaten erfasst. Diese wurden für den Zeitraum 1995 bis 2004 als Windstatistik aufbereitet und sind in **Abb. 3.6** aufgezeigt. Die Hauptwindrichtungen werden durch westliche bis nordwestliche Windrichtungen geprägt; eine weitere Hauptwindrichtung stellen Winde aus südöstlichen bis östlichen Richtungen dar. Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit beträgt ca. 2.0 m/s.

Für die Ausbreitungsrechnungen werden die Winddaten der Station Ludwigsburg herangezogen. Diese Daten werden für die Ausbreitungsrechnung angesetzt, wobei die Ausbreitungsklassen aus den Bewölkungsangaben der Wetterstation Stuttgart-Schnarrenberg abgeleitet werden.



# Ludwigsburg



Station : Lud-AK  
 Meßhöhe : 10.0 m  
 Rechtswert :  
 Hochwert :  
 Wind.Geschw. : 2.0 m/s

- kleiner 1.4 m/s
- ▨ 1.4 bis 2.3 m/s
- 2.4 bis 3.8 m/s
- ▩ 3.9 bis 6.9 m/s
- 7.0 bis 10 m/s
- größer 10 m/s



Abb. 3.6: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung für den Standort Ludwigsburg

## 4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN

### 4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte

Basierend auf den o.g. Flotten- und Emissionsdaten werden die Emissionen für die Hauptverkehrsstraßen in Ludwigsburg berechnet. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse konzentriert sich im Folgenden auf die Straßenabschnitte der Friedrichstraße (West), Friedrichstraße (Ost), Schorndorfer Straße und Frankfurter Straße, an denen Immissionsmessdaten der SPOT-Messungen vorliegen.

Mit den in Kap. 3 aufgeführten Auswertungen der Emissionsfaktoren durch Modifizierungen der Flotte werden folgend die Emissionen der genannten Streckenabschnitte für die Bezugsjahre 2007 und 2012 jeweils ohne und mit Maßnahmen aufgeführt.

Die berechneten mittleren täglichen  $\text{NO}_x$ -Emissionen sind in **Abb. 4.1** (oben) und als relative Darstellungen bezogen auf die Emissionsmodellierung des Referenzzustandes, d.h. den Nullfall im Jahr 2007, in **Abb. 4.1** (unten) aufgezeigt.

Gegenüber dem Nullfall 2007 nehmen die  $\text{NO}_x$ -Emissionen im Jahr 2012 aufgrund der zeitlichen Entwicklung der Flottenzusammensetzung deutlich ab. Gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2007, sind mit der Maßnahme M1 ca. 98 %, im Nullfall 2012 ca. 71 % bis 74 % und mit der Maßnahme M2 ca. 66 % bis 70 % der Emissionen zu erwarten. Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die Reduktionen der  $\text{NO}_x$ -Emissionen ohne Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen.

Bei den Partikelemissionen wird die Summe aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ Beiträgen betrachtet. Gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2007, sind mit der Maßnahme M1 ca. 94 % bis 96 %, im Nullfall 2012 ca. 87 % bis 91 % und mit der Maßnahme M2 ca. 85 % bis 89 % der  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen zu erwarten (**Abb. 4.2**). Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die wesentlichen Verringerungen der  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen ohne Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen. Bei den  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen ist zu beachten, dass der nicht motorbedingte Anteil durch die betrachteten Maßnahmen nur dann verringert wird, wenn auch die Verkehrsbelastung verringert wird; die Auswirkungen der Maßnahmen der Fahr-

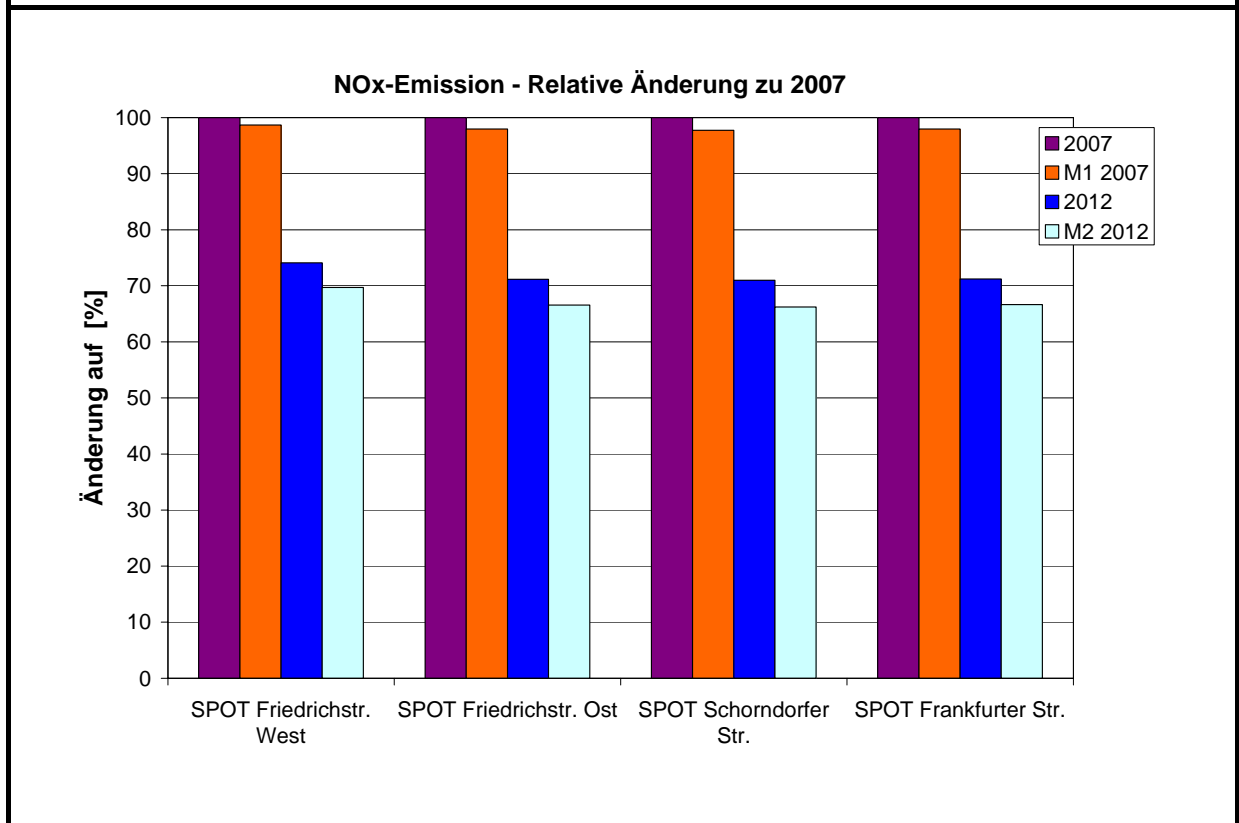
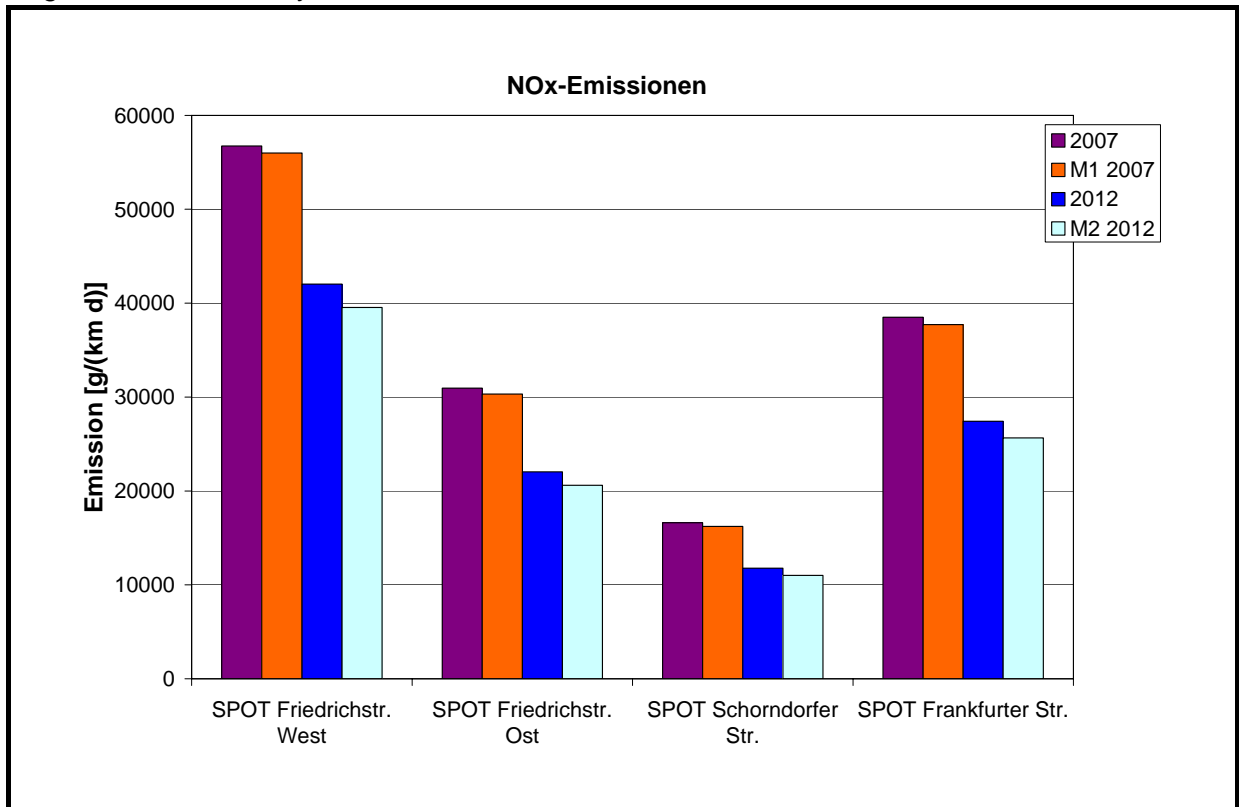


Abb. 4.1: NO<sub>x</sub> - Emissionen an den SPOT-Messstellen in Ludwigsburg  
 oben: Emissionen in [g/(km d)]  
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2007 in %

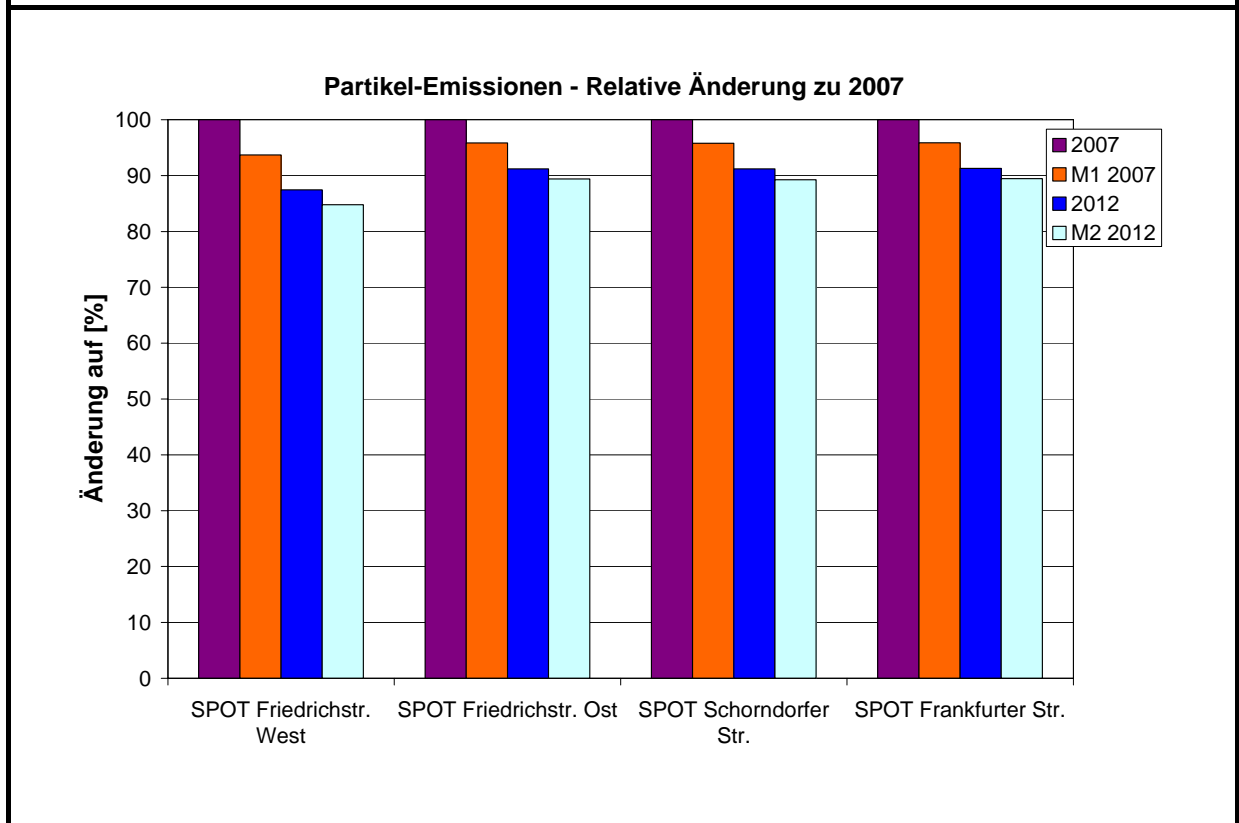
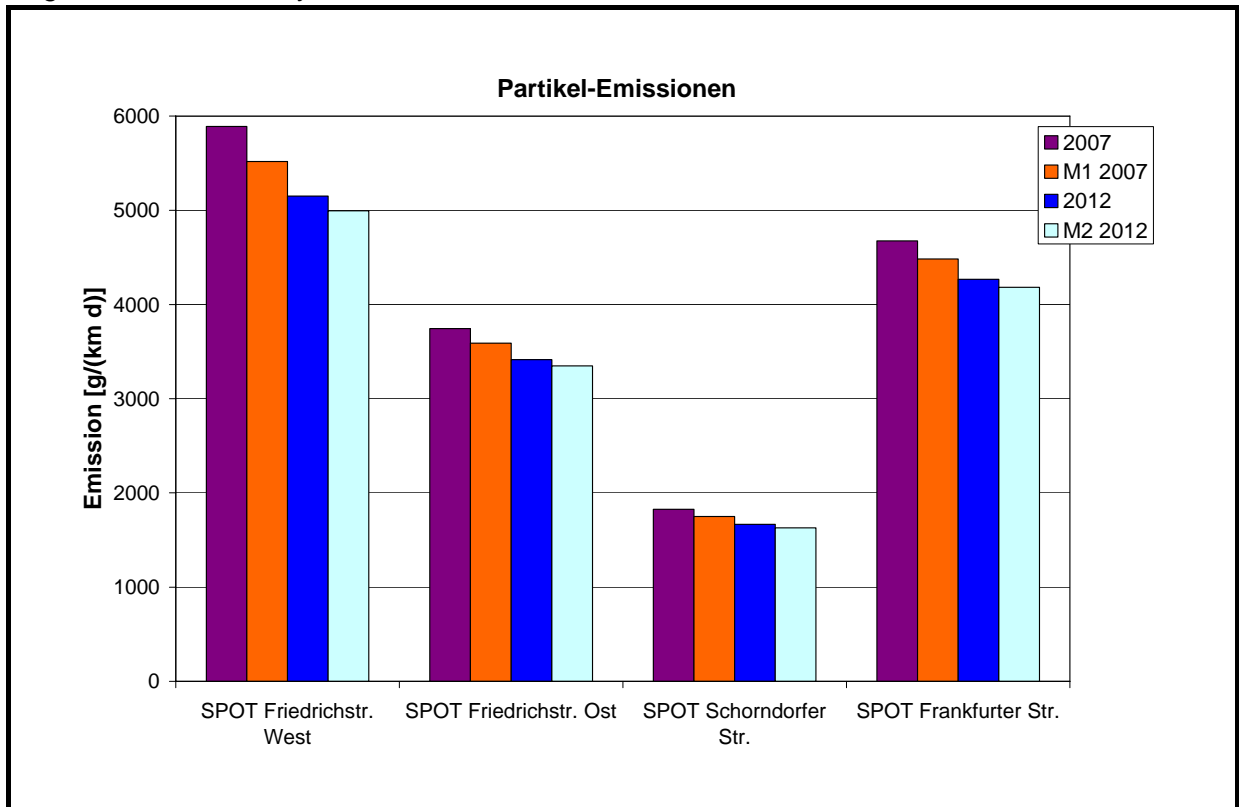


Abb. 4.2: PM10 - Emissionen an den SPOT-Messstellen in Ludwigsburg  
 oben: Emissionen in [g/(km d)]  
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2007 in %

verbote entsprechend der Kennzeichnungsverordnung wirken nur hinsichtlich der Verringerung der motorbedingten PM10-Emissionen und werden durch gleich bleibende Anteile der nicht motorbedingten Beiträge abgeschwächt, da auch PKW und leichte Nutzfahrzeuge ohne Dieselmotor zu den Aufwirbelungen beitragen. Die „nicht motorbedingten“ Beiträge der PM10-Belastungen sind überwiegend der gröberen Fraktion zuzuschreiben und damit gegenüber den sehr feinen motorbedingten Partikeln weniger lungengängig.

Zusätzlich werden auch die Rußemissionen betrachtet, da nur ein geringer Anteil dem Reifenabrieb zuzuordnen ist und der überwiegende Emissionsbeitrag des Kfz-Verkehrs durch die Motoremissionen verursacht wird. Die Rußemissionen weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2007, mit der Maßnahme M1 88 % bis 91 %, im Nullfall 2012 ca. 77 % bis 83 % und mit der Maßnahme M2 ca. 71 % bis 78 % der Emissionen auf (**Abb. 4.3**). Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die wesentlichen Reduktionen der Rußemissionen ohne Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen.

## 4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen

Im Jahr 2004 wurden in Ludwigsburg neben der Festmessstation Ludwigsburg Messdaten an vier Straßenabschnitten, der Friedrichstraße (West), Friedrichstraße (Ost), Schorndorfer Straße und Frankfurter Straße erfasst. **Tab. 4.1** zeigt eine Zusammenstellung der Messdaten in Ludwigsburg im Jahr 2004 für die Straßenmessstationen. An jedem Straßenabschnitt wurden mehrere NO<sub>2</sub>-Messdatenerfassungen und jeweils eine Messposition in größerem Abstand zu den Straßen zur Erfassung der weniger verkehrsbeeinflussten Bedingungen durchgeführt. Die Messpunkte variieren damit im Abstand zum Straßenrand und im Abstand zur nächstgelegenen Bebauung. Damit sind u.a. die Variationen der aufgeführten Messdaten entlang einem Straßenabschnitt zu erklären. Für das Jahr 2005 wurden an der Station Friedrichstraße West ein NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert von 85 µg/m<sup>3</sup>, ein PM10-Jahresmittelwert von 41 µg/m<sup>3</sup> und 78 Überschreitungstage erfasst. An der Station Ludwigsburg wurden entsprechend vorläufigen Auswertungen der im Internet veröffentlichten Zeitreihen ein NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert von 32 µg/m<sup>3</sup> und ein PM10-Mittelwert von 26 µg/m<sup>3</sup> mit 12 Überschreitungstagen ermittelt, wobei die PM10-Daten nur bis September 2005 verfügbar sind.

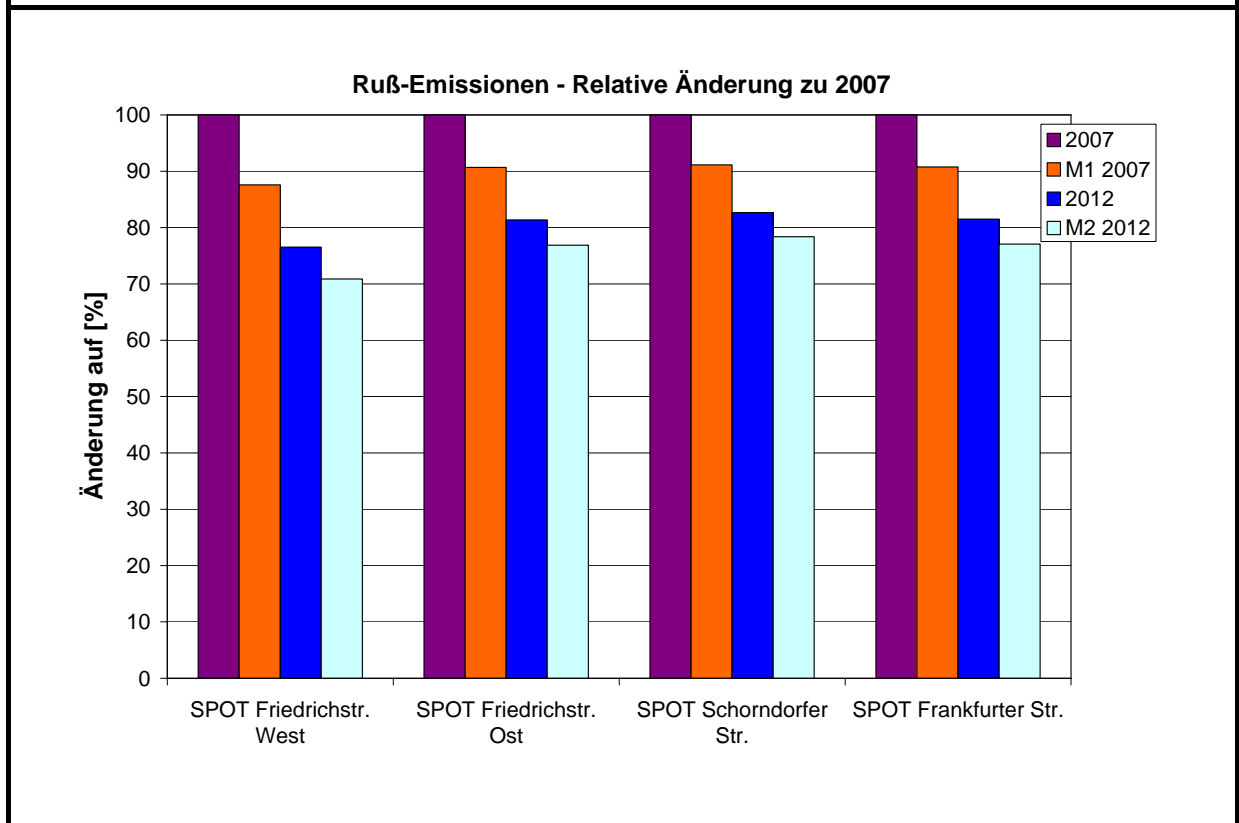
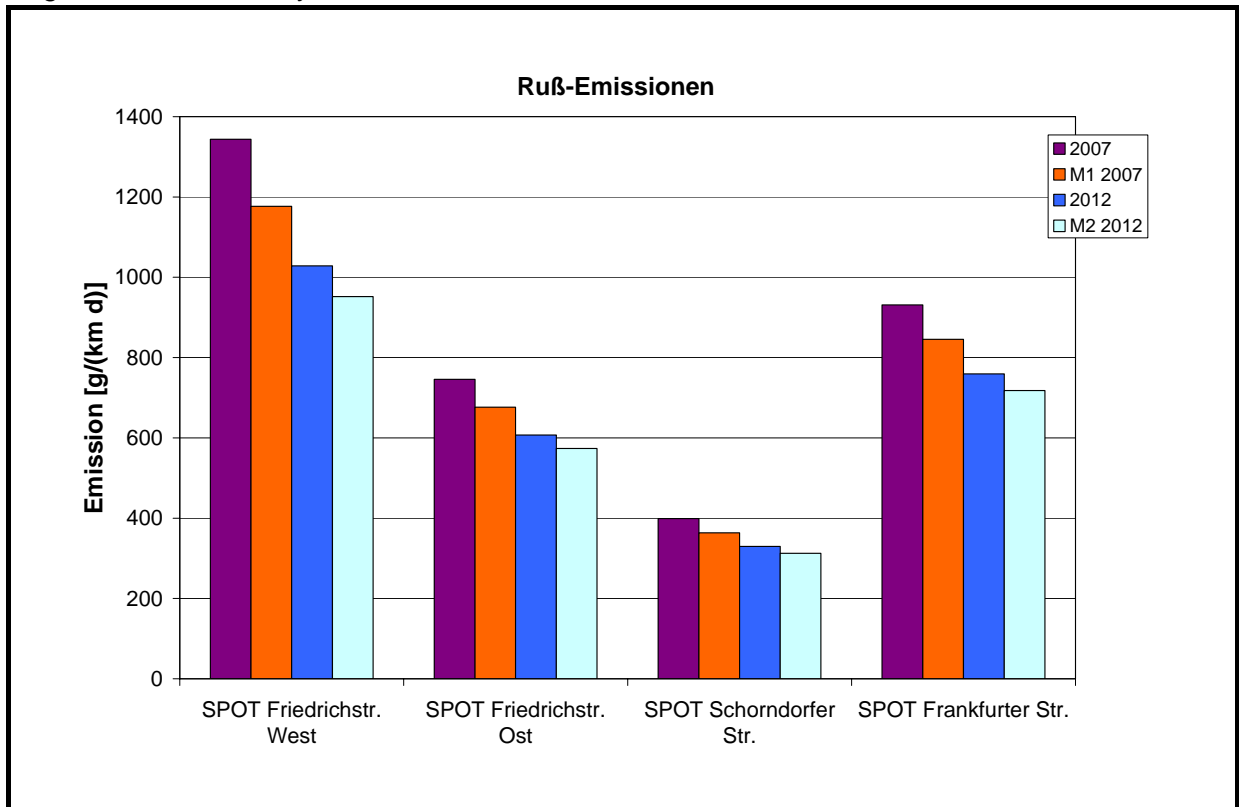


Abb. 4.3: Ruß - Emissionen an den SPOT-Messstellen in Ludwigsburg  
 oben: Emissionen in [g/(km d)]  
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2007 in %

	<b>NO<sub>2</sub>-I1 [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>PM10-I1 [µg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>PM10-Überschreitung [Anzahl]</b>	<b>Ruß-I1 [µg/m<sup>3</sup>]</b>
Ludwigsburg	27	22	14	2.9
LB-Friedrichstraße West 1	89	-	-	-
LB-Friedrichstraße West 2	66	-	-	-
LB-Friedrichstraße West 3	67	-	-	-
LB-Friedrichstraße West 6	58	-	-	-
LB-Friedrichstraße West 7	80	38	74	7.0
LB-Friedrichstraße 5 Hint.	31	-	-	2.2
LB-Friedrichstraße Ost 1	67	-	-	4.4
LB-Friedrichstraße Ost 2	65	-	-	-
LB-Friedrichstraße Ost 3	62	-	-	-
LB-Friedrichstraße Ost 6	72	-	-	-
LB-Friedrichstraße Ost 7	58	-	-	-
LB-Schorndorfer Straße 1	57	-	-	-
LB-Schorndorfer Straße 2	60	-	-	-
LB-Schorndorfer Straße 3	55	-	-	-
LB-Schorndorfer Straße 4	53	-	-	3.2
LB-Schorndorfer Straße 5 Hint.	33	-	-	1.9
LB-Schorndorfer Straße 6	54	-	-	-
LB-Schorndorfer Straße 7	56	-	-	-
LB-Frankfurter Straße 1	74	-	-	-
LB-Frankfurter Straße 2	87	-	-	-
LB-Frankfurter Straße 3	76	-	-	-
LB-Frankfurter Straße 4	75	-	-	-
LB-Frankfurter Straße 5 Hint.	39	-	-	2.3
LB-Frankfurter Straße 7	77	-	-	-
LB-Frankfurter Straße 8	54	30	37	4.5

Tab. 4.1: Messdaten 2004 an den Messstationen in Ludwigsburg. I1 = Jahresmittelwert, PM10-Überschreitung = Anzahl der Tage über 50 µg/m<sup>3</sup>, Hint. = Hintergrund

Für die Anwendung der vorgestellten Emissionsermittlung und der darauf aufbauenden möglichen Maßnahmen werden Ausbreitungsrechnungen mit dem Berechnungsverfahren PROKAS und dem Bebauungsmodul PROKAS\_B durchgeführt. Die in den Berechnungen anzusetzende Hintergrundbelastung wird aus dem Vergleich der Berechnungs- und Messergebnisse der Station Ludwigsburg abgeleitet und dann auf die verkehrsbeeinflussten Stationsstandorte angewendet, um einen Vergleich zwischen den Mittelwerten der Messdaten und den Berechnungsergebnissen zu erhalten. Bei den Berechnungen wird die Randbebauung typisiert nach Straßenraumbreite, Höhe der Randbebauung und Lückigkeit der Randbebauung für einzelne Straßenabschnitte (Länge jeweils ca. 100 m) berücksichtigt.

Innerhalb dieser Straßenabschnitte wird eine einheitliche Immission berechnet; mit diesem Berechnungsverfahren kann keine weitere örtliche Differenzierung erfolgen, sodass für die Messstandorte eines Straßenabschnittes jeweils ein Rechenwert erzeugt wird. Für feinere räumliche Auflösungen der berechneten Immissionen wäre der Einsatz eines mikroskaligen Rechenverfahrens mit Berücksichtigung von Gebäudeumströmungen erforderlich.

Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen für die Stationen in Ludwigsburg sind für den derzeitigen Zustand in **Tab. 4.2** aufgeführt.

Die berechneten Belastungen weisen an den Messstationen gute Übereinstimmungen mit den Messdaten auf. Entsprechend den Anforderungen der 22. BImSchV an die Genauigkeit der Modellrechnungen wird für die Messstationen in Ludwigsburg diese Anforderung eingehalten. Die berechneten Ruß-Jahresmittelwerte weisen an der Straßenmessstelle eine leichte Überschätzung der Messwerte auf, wobei keine Überschreitungen des Prüfwertes von  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  der mittlerweile zurückgezogenen 23. BImSchV berechnet sind; dort weisen auch die Messdaten keine Überschreitungen aus.

	<b>NO<sub>2</sub>-I1</b> <b>[<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	<b>PM10-I1</b> <b>[<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>	<b>Ruß-I1</b> <b>[<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>]</b>
Ludwigsburg	29	22	2.3
Spot Friedrichstr. West	66	40	6.5
Spot Friedrichstr. Ost	59	-	5.2
Spot Schorndorfer Str.	51	-	4.1
Frankfurter Str.	54	32	4.5
Friedrichstr. Hintergrund	26	-	2.2
Schorndorfer Str. Hintergrund	30	-	2.4
Frankfurter Str. Hintergrund	37	-	2.9

Tab. 4.2: Berechnete Immissionen an den Messstationen in Ludwigsburg für den derzeitigen Zustand

Mit der selben Vorgehensweise werden basierend auf den prognostizierten Verkehrsbelegungsdaten für die zu betrachtenden Jahre 2007 und 2012 Immissionsberechnungen für die genannten Maßnahmen und Jahre durchgeführt. Die Ergebnisse werden zusammenfassend für die SPOT-Messstationen und die Station Ludwigsburg als Konzentrationen und als relative Änderungen dargestellt, um die Auswirkungen der Maßnahmen und zeitlichen Entwicklungen der Kfz-Flotte auf die Gesamtbelastungen zu beschreiben.



In **Abb. 4.4** (oben) sind die berechneten Jahresmittelwerte für  $\text{NO}_2$  und in **Abb. 4.4** (unten) die relativen Änderungen der berechneten  $\text{NO}_2$ -Immissionen für die Jahre 2007 und 2012 sowie für die Maßnahmen M1 und M2 bezogen auf den Nullfall 2007 aufgezeigt. Im Anhang A2 sind die berechneten Immissionen für die betrachteten Hauptverkehrsstraßen in Ludwigsburg grafisch dargestellt. Für den Nullfall 2007 werden an den SPOT-Messstationen Konzentrationen über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und damit vergleichbare Immissionen gegenüber dem derzeitigen Zustand berechnet. Gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2007, weisen die  $\text{NO}_2$ -Belastungen an den straßennahen Standorten mit der Maßnahme M1 praktisch unveränderte Belastungen, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 88 % bis 90 % und mit der Maßnahme M2 86 % bis 88 % der Gesamtbelastungen auf. Mit der Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 sind deutliche Minderungen der verkehrsbedingten  $\text{NO}_2$ -Beiträge zu erwarten, die allerdings entsprechend den Berechnungen an den betrachteten Straßenabschnitten nicht zur Einhaltung des ab 2010 geltenden Grenzwertes von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  führen. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen nur zu einer geringen Verringerung der  $\text{NO}_2$ -Gesamtbelastungen.

Die prognostizierten  $\text{PM}_{10}$ -Immissionen sind in **Abb. 4.5** aufgezeigt. Für den Nullfall 2007 werden an den SPOT-Messstationen  $\text{PM}_{10}$ -Konzentrationen zwischen  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und damit vergleichbare Immissionen mit dem derzeitigen Zustand berechnet. Gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2007, weisen die  $\text{PM}_{10}$ -Belastungen an den straßennahen Standorten mit der Maßnahme M1 praktisch unveränderte Belastungen, d.h. 97 % bis 99 %, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 95 % bis 97 % und mit der Maßnahme M2 93 % bis 97 % der Gesamtbelastungen auf. Mit der Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 und mit den beschriebenen Maßnahmen der Kennzeichnungsverordnung sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten  $\text{PM}_{10}$ -Beiträge zu erwarten.

Für die Ableitung des  $\text{PM}_{10}$ -Kurzzeitbelastungswertes, d.h. der Überschreitung eines  $\text{PM}_{10}$ -Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an mehr als 35 Tagen pro Jahr, werden in der Fachliteratur Schwellenwerte der  $\text{PM}_{10}$ -Jahresmittelwerte genannt. So wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes für die Bundesanstalt für Straßenwesen aus 914 Messdatensätzen aus den Jahren 1999 bis 2003 eine gute Korrelation zwischen der Anzahl der Tage mit  $\text{PM}_{10}$ -Tagesmittelwerten größer als  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und dem  $\text{PM}_{10}$ -Jahresmittelwert gefunden (**Abb. 4.6**). Daraus wurde eine funktionale Abhängigkeit der  $\text{PM}_{10}$ -Überschreitungshäufigkeit vom  $\text{PM}_{10}$ -Jahresmittelwert abgeleitet (BASt, 2005). Die Regressionskurve nach der Methode der kleinsten Quadrate („best fit“) und die mit einem Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöhte Funktion („best fit + 1 sigma“) sind ebenfalls in der **Abb. 4.6** dargestellt.

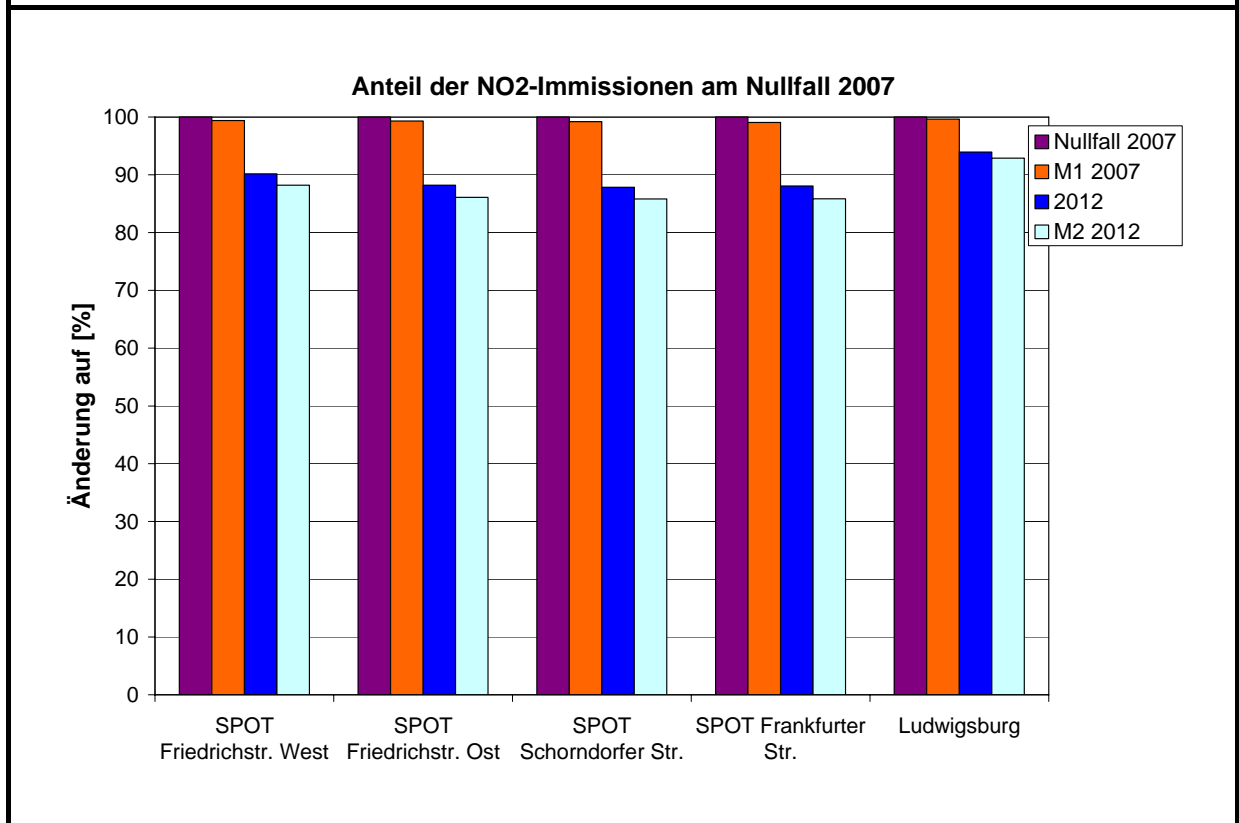
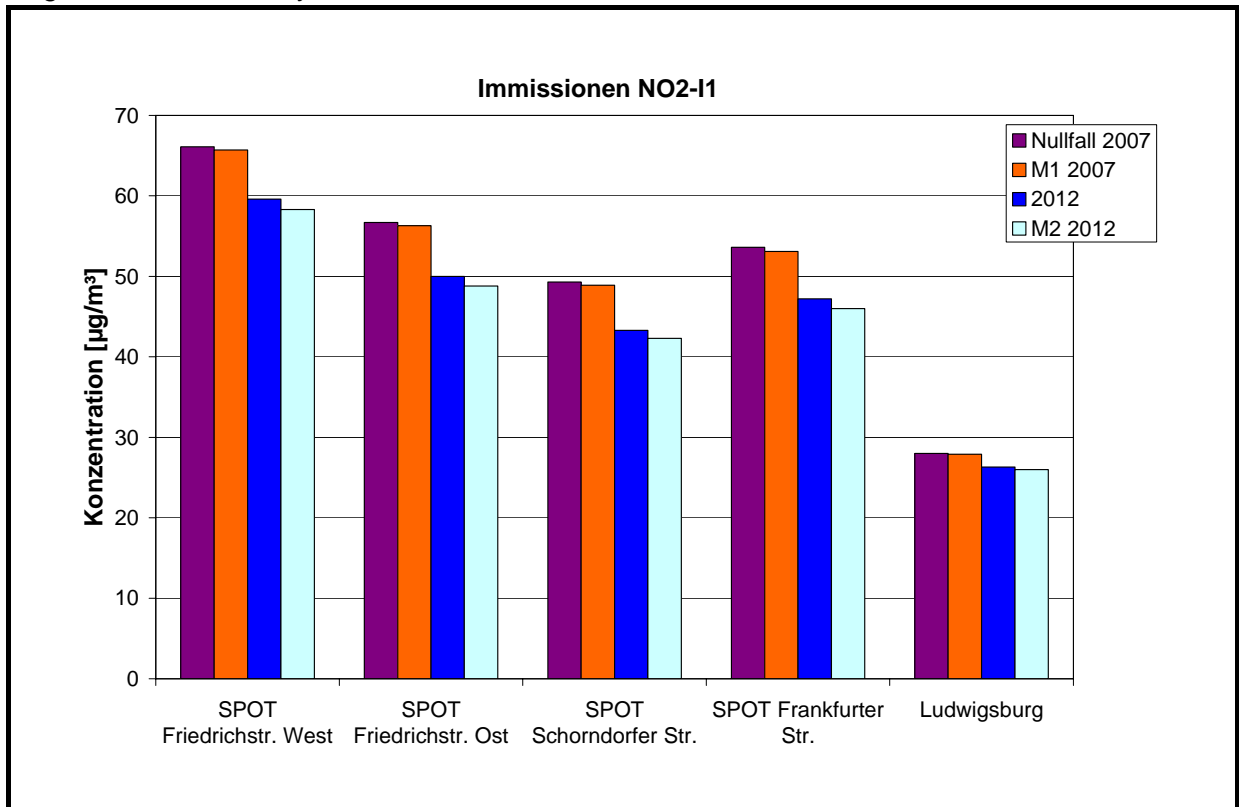


Abb. 4.4: NO<sub>2</sub> - Immissionen an den SPOT-Messstellen und der Festmessstation in Ludwigsburg  
 oben: Immissionen in [µg/m<sup>3</sup>]  
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2007 in %

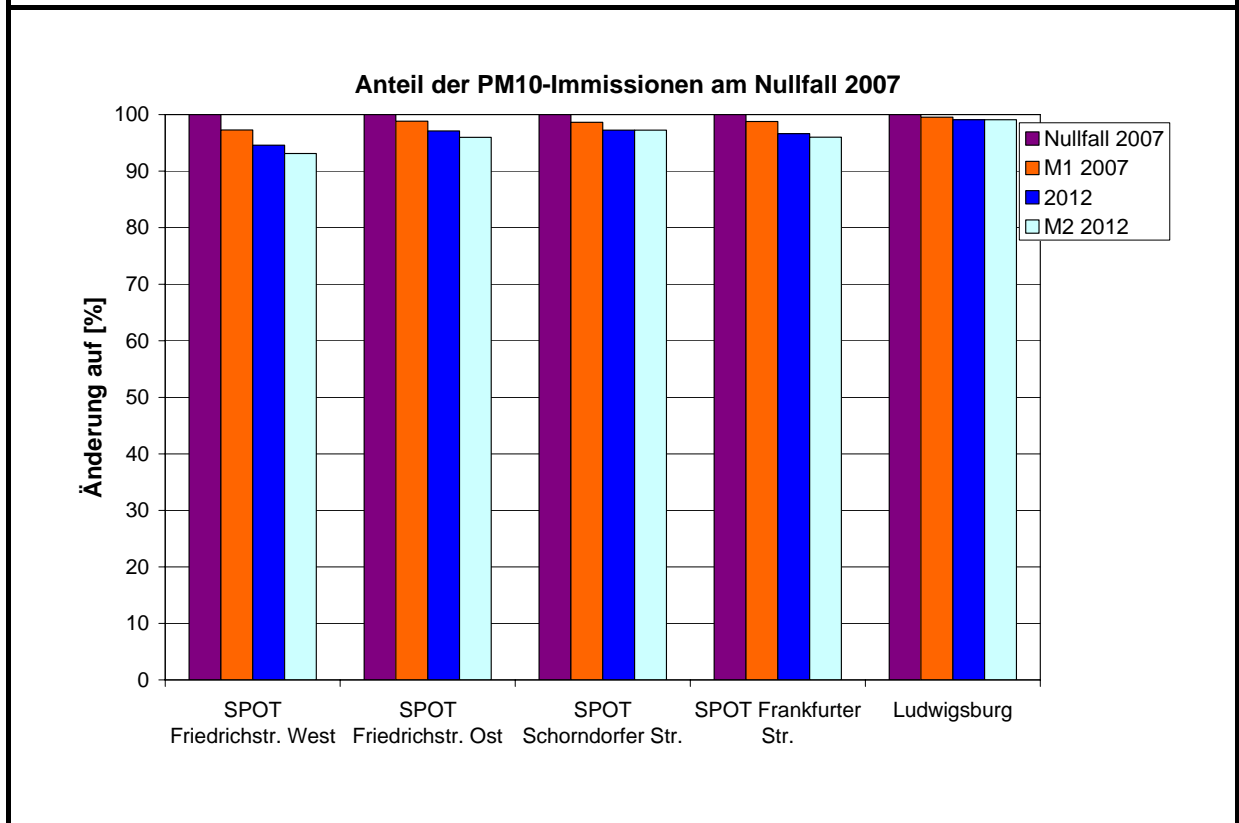
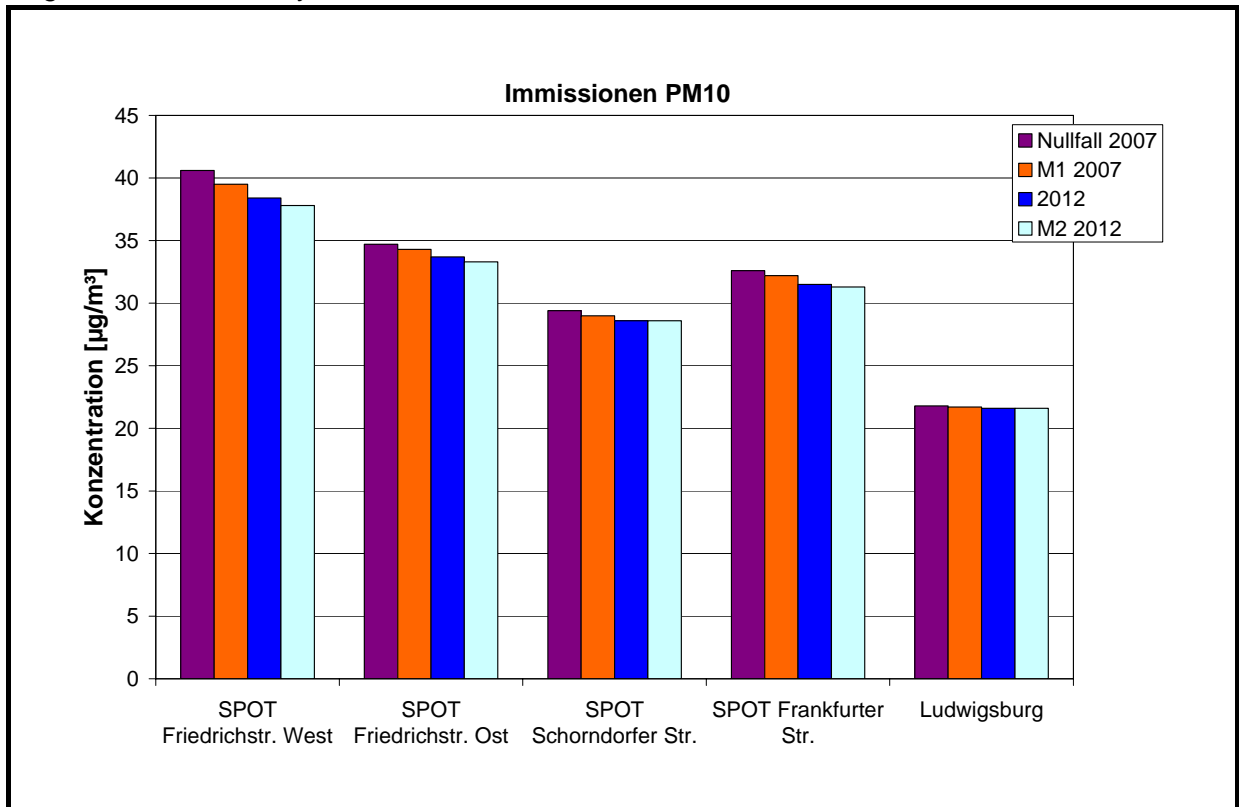
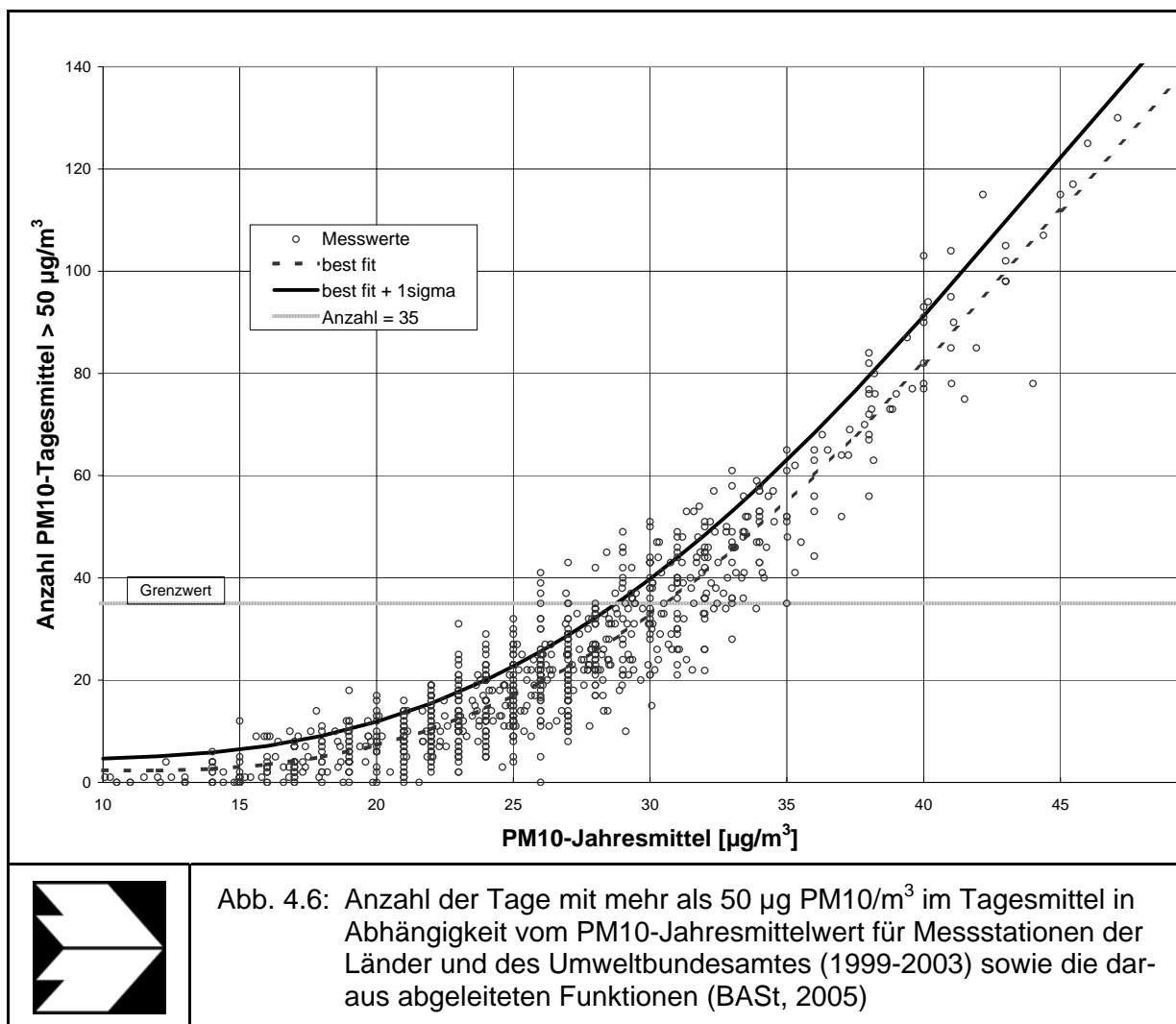


Abb. 4.5: PM10 - Immissionen an den SPOT-Messstellen und der Festmessstation in Ludwigsburg  
 oben: Immissionen in [µg/m³]  
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2007 in %

Mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Grenzwert) werden mit diesem Ansatz unter Berücksichtigung des Sicherheitszuschlags für PM10-Jahresmittelwerte ab  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  abgeleitet.

Im Oktober 2004 stellte die Arbeitsgruppe „Umwelt und Verkehr“ der Umweltministerkonferenz (UMK) aus den ihr vorliegenden Messwerten der Jahre 2001 bis 2003 eine entsprechende Funktion für einen „best fit“ vor (UMK, 2004). Diese Funktion zeigt bis zu einem Jahresmittelwert von ca.  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  einen nahezu identischen Verlauf wie der o.g. „best fit“ nach BAST (2005). Im statistischen Mittel wird somit bei beiden Datenauswertungen die Überschreitung des PM10-Kurzzeitgrenzwertes bei einem PM10-Jahresmittelwert von  $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$  erwartet.



Weiterhin liegen Auswertungen durch die UMEG mbH für die Stationen in Baden-Württemberg und für das Jahr 2004 vor, die ab einem PM10-Jahresmittelwert von  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf eine Überschreitung des PM10-Kurzzeitgrenzwertes schließen lassen.

Aus den berechneten PM10-Jahresmittelwerten werden im Rahmen dieser Ausarbeitung mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Grenzwert) ab PM10-Jahresmittelwerten von  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  angesetzt. Danach ist von den betrachteten Straßenmessstandorten nur an der Schorndorfer Straße eine Einhaltung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes zu erwarten.

Ergänzend zu den Feinstaubbelastungen werden auch die Auswirkungen auf die Rußbelastungen in **Abb. 4.7** aufgezeigt. Für den Nullfall 2007 werden an den SPOT-Messstationen Konzentrationen zwischen  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und damit leicht verringerte Immissionen gegenüber dem derzeitigen Zustand berechnet. Gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2007, weisen die Rußimmissionen an den straßennahen Standorten mit der Maßnahme M1 92 % bis 96 %, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 85 % bis 92 % und mit der Maßnahme M2 81 % bis 89 % der Gesamtbelastungen auf. Mit der Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 und mit den Maßnahmen der Kennzeichnungsverordnung sind deutliche Minderungen der verkehrsbedingten Ruß-Beiträge zu erwarten. Der motorbedingte Anteil der Rußpartikelbelastungen wird gegenüber den PM10-Immissionen intensiver durch die Maßnahmen verringert.

Insgesamt ist aus den Ergebnissen der Berechnungen zu schließen, dass die geplanten Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung zu Verringerungen der verkehrsbedingten Luftschadstoffbelastungen führen können; die Auswirkungen der genannten Maßnahmen sind gegenüber den Auswirkungen durch die Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 geringer einzustufen.

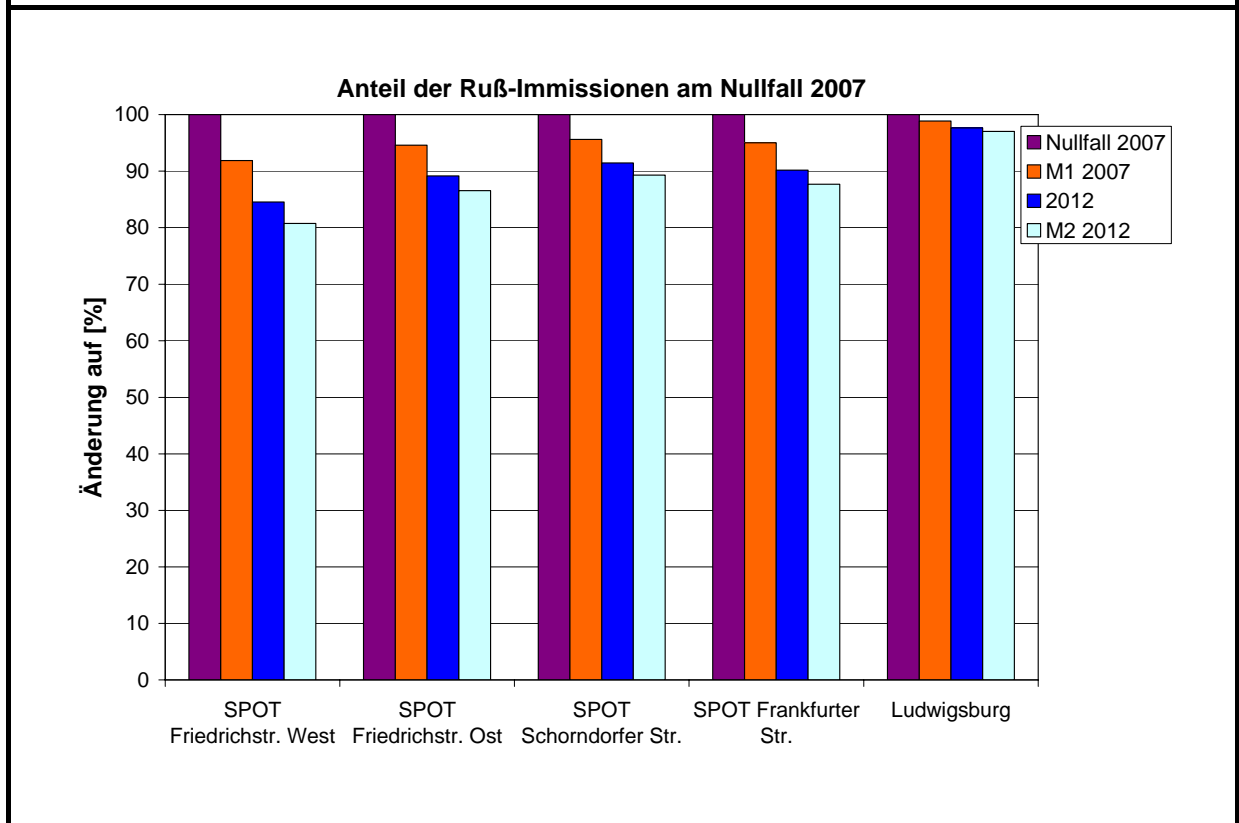
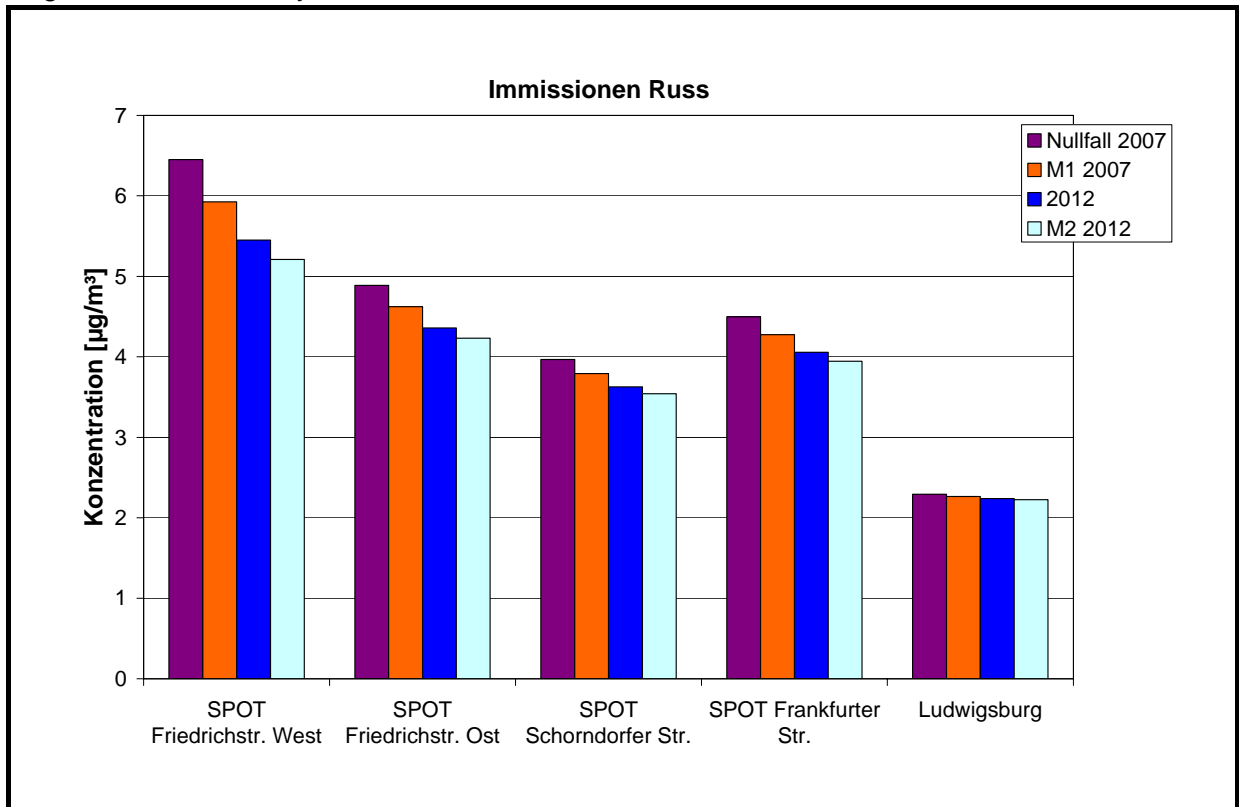


Abb. 4.7: Ruß - Immissionen an den SPOT-Messstellen und der Festmessstation in Ludwigsburg  
 oben: Immissionen in [µg/m³]  
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2007 in %

## 5 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.
- BAST (1986): Straßenverkehrszählungen 1985 in der Bundesrepublik Deutschland. Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Schriftenreihe Straßenverkehrszählungen, Heft 36. Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bergisch Gladbach, 1986. Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- BAST (2005): PM10-Emissionen an Außerortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM10-Konzentrationen aus Messungen an der A 1 Hamburg und Ausbreitungsrechnungen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 125, Bergisch-Gladbach, Juni 2005.
- Düring, I., Lohmeyer, A. (2004): Modellierung nicht motorbedingter PM10-Emissionen von Straßen. KRdL-Experten-Forum „Staub und Staubinhaltsstoffe“, 10./11. November 2004, Düsseldorf. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, KRdL-Schriftenreihe Band 33.
- Fahrverbote nach IG-L (2004): Luftreinhaltemaßnahmen nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L): LKW-Nachtfahrverbot und sektorales Fahrverbot. Ausstattung von Baumaschinen mit Partikelfiltern. [www.tirol.gv.at/Themen/Umwelt/Luft/nachtfahrverbot.shtml](http://www.tirol.gv.at/Themen/Umwelt/Luft/nachtfahrverbot.shtml).
- Filliger, P., Puybonnieux-Textier, V., Schneider, J. (1999): PM10 Population Exposure - Technical Report on Air Pollution, Prepared for the WHO Ministerial Conference for Environment and Health, London, June 1999, Published by Federal Department of Environment, Transport, Energy and Communications Bureau for Transport Studies, Berne, Switzerland.
- Flassak, Th., Bächlin, W., Bössinger, R., Blazek, R., Schädler, G., Lohmeyer, A. (1996): Einfluss der Eingangparameter auf berechnete Immissionswerte für KFZ-Abgase - Sensitivitätsanalyse. In: FZKA PEF-Bericht 150, Forschungszentrum Karlsruhe.
- IFEU (2004): Auswirkungen neuer Erkenntnisse auf die Berechnungen der Partikel- und NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs. Kurzstudie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg.

- Kutzner, K., Diekmann, H., Reichenbacher, W. (1995): Luftverschmutzung in Straßenschluchten - erste Messergebnisse nach der 23. BImSchV in Berlin. VDI-Bericht 1228, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Lohmeyer (2004): Maßnahmebetrachtungen zu PM10 im Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Projekt 60277, Dezember 2004. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Stuttgart.
- Lohmeyer (2005): Ergänzung zum Bericht Maßnahmebetrachtungen zu PM10 im Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Projekt 60277E, Januar 2005. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Stuttgart.
- LRP Stuttgart (2005): Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart. Teilplan Landeshauptstadt Stuttgart. Maßnahmenplan zur Minderung der PM10- und NO<sub>2</sub>-Belastungen. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidium Stuttgart.
- PTV (2005): Aufbau eines Wirtschaftsverkehrsmodells für die Region Stuttgart zur Aufstellung von Luftreinhalte- und Aktionsplänen. Bearbeitung: PTV Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe. Im Auftrag der Stadt Stuttgart, Verband Region Stuttgart, IHK Region Stuttgart.
- Röckle, R., Richter, C.-J. (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für KFZ-Abgase. Hrsg.: Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, Band 56, Heft 6, S. 215-218.
- Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, T. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. In: Berichte Umweltforschung Baden-Württemberg (FZKA-PEF 138).
- UBA (1995) (Hassel, D., Jost, P., Weber, F.J., Dursbeck, F.): Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland für das Bezugsjahr 1990. Abschlussbericht. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Luftreinhaltung. UBA-FB 95-049. UBA-Berichte 5/1995.



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. Herunterladbar unter <http://www.hbefa.net/>.

UMK (2004): Partikelemissionen des Straßenverkehrs. Endbericht der UMK AG „Umwelt und Verkehr“. Oktober 2004.

VDI (2003): Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung – Luftbeimengungen. VDI-Richtlinie VDI 3782 Blatt 7. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, November 2003.

**A N H A N G A 1:**  
**BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS-**  
**ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION**

## **A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION**

Für die Berechnung der Schadstoffimmission an einem Untersuchungspunkt wird das mathematische Modell PROKAS zur Anwendung, welches den Einfluss des umgebenden Straßennetzes bis in eine Entfernung von mehreren Kilometern vom Untersuchungspunkt berücksichtigt. Es besteht aus dem Basismodul PROKAS\_V (Gaußfahnenmodell) und dem integrierten Bebauungsmodul PROKAS\_B, das für die Berechnung der Immissionen in Straßen mit dichter Randbebauung eingesetzt wird.

### **A1.1 Berechnung der Immissionen mit PROKAS\_V**

Die Zusatzbelastung infolge des Straßenverkehrs in Gebieten ohne oder mit lockerer Randbebauung wird mit dem Modell PROKAS ermittelt. Es werden jeweils für 36 verschiedene Windrichtungsklassen und 9 verschiedene Windgeschwindigkeitsklassen die Schadstoffkonzentrationen berechnet. Die Zusatzbelastung wird außerdem für 6 verschiedene Ausbreitungsklassen ermittelt. Mit den berechneten Konzentrationen werden auf der Grundlage von Emissionsganglinien bzw. Emissionshäufigkeitsverteilungen und einer repräsentativen Ausbreitungsklassenstatistik die statistischen Immissionskenngrößen Jahresmittel- und 98-Perzentilwert ermittelt.

Die Parametrisierung der Umwandlung des von Kraftfahrzeugen hauptsächlich emittierten NO in NO<sub>2</sub> erfolgt nach Romberg et al. (1996).

### **A1.2 Berechnung der Immissionen in Straßen mit dichter Randbebauung mit PROKAS\_B**

Im Falle von teilweise oder ganz geschlossener Randbebauung (etwa einer Straßenschlucht) ist die Immissionsberechnung nicht mit PROKAS\_V durchführbar. Hier wird das ergänzende Bebauungsmodul PROKAS\_B verwendet. Es basiert auf Modellrechnungen mit dem mikroskaligen Ausbreitungsmodell MISKAM für idealisierte Bebauungstypen. Dabei wurden für 20 Bebauungstypen und jeweils 36 Anströmrichtungen die dimensionslosen Abgaskonzentrationen  $c^*$  in 1.5 m Höhe und 1 m Abstand zum nächsten Gebäude bestimmt.

Die Bebauungstypen werden unterschieden in Straßenschluchten mit ein- oder beidseitiger Randbebauung mit verschiedenen Gebäudehöhe-zu-Straßenschluchtbreite-Verhältnissen und unterschiedlichen Lückenanteilen in der Randbebauung. Unter Lückigkeit ist der Anteil nicht verbauter Flächen am Straßenrand mit (einseitiger oder beidseitiger) Randbebauung zu verstehen. Die Straßenschluchtbreite ist jeweils definiert als der zweifache Abstand zwischen Straßenmitte und straßennächster Randbebauung. Die **Tab. A1.1** beschreibt die Einteilung der einzelnen Bebauungstypen. Straßenkreuzungen werden auf Grund der Erkenntnisse aus Naturmessungen (Kutzner et al., 1995) und Modellsimulationen nicht berücksichtigt. Danach treten an Kreuzungen trotz höheren Verkehrsaufkommens um 10 % bis 30 % geringere Konzentrationen als in den benachbarten Straßenschluchten auf.

Aus den dimensionslosen Konzentrationen errechnen sich die vorhandenen Abgaskonzentrationen  $c$  zu

$$c = \frac{c^* \cdot Q}{B \cdot u'}$$

wobei:	$c$	=	Abgaskonzentration [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]
	$c^*$	=	dimensionslose Abgaskonzentration [-]
	$Q$	=	emittierter Schadstoffmassenstrom [ $\mu\text{g}/\text{m s}$ ]
	$B$	=	Straßenschluchtbreite [m] beziehungsweise doppelter Abstand von der Straßenmitte zur Randbebauung
	$u'$	=	Windgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der fahrzeug-induzierten Turbulenz [m/s]

Die Konzentrationsbeiträge von PROKAS\_V für die Vorbelastung und von PROKAS\_B werden für jede Einzelsituation, also zeitlich korreliert, zusammengefasst.

Typ	Randbebauung	Gebäudehöhe/ Straßenschluchtbreite	Lückenanteil [%]
0*	locker	-	61 - 100
101	einseitig	1:3	0 - 20
102	"	1:3	21 - 60
103	"	1:2	0 - 20
104	"	1:2	21 - 60
105	"	1:1.5	0 - 20
106	"	1:1.5	21 - 60
107	"	1:1	0 - 20
108	"	1:1	21 - 60
109	"	1.5:1	0 - 20
110	"	1.5:1	21 - 60
201	beidseitig	1:3	0 - 20
202	"	1:3	21 - 60
203	"	1:2	0 - 20
204	"	1:2	21 - 60
205	"	1:1.5	0 - 20
206	"	1:1.5	21 - 60
207	"	1:1	0 - 20
208	"	1:1	21 - 60
209	"	1.5:1	0 - 20
210	"	1.5:1	21 - 60

Tab. A1.1: Typisierung der Straßenrandbebauung

### A1.3 Fehlerdiskussion

Immissionsprognosen als Folge der Emissionen des KFZ-Verkehrs sind ebenso wie Messungen der Schadstoffkonzentrationen fehlerbehaftet. Bei der Frage nach der Zuverlässigkeit der Berechnungen und der Güte der Ergebnisse stehen meistens die Ausbreitungsmodelle im Vordergrund. Die berechneten Immissionen sind aber nicht nur abhängig von den Ausbreitungsmodellen, sondern auch von einer Reihe von Eingangsinformationen, wobei jede Einzelne dieser Größen einen mehr oder weniger großen Einfluss auf die prognosti-

\* Typ 0 wird angesetzt, wenn mindestens eines der beiden Kriterien (Straßenschluchtbreite  $\geq 5 \times$  Gebäudehöhe bzw. Lückenanteil  $\geq 61$  %) erfüllt ist.

zierten Konzentrationen hat. Wesentliche Eingangsgrößen sind die Emissionen, die Bebauungsstruktur, meteorologische Daten und die Vorbelastung.

Es ist nicht möglich, auf Basis der Fehlerbandbreiten aller Eingangsdaten und Rechenschritte eine klassische Fehlerberechnung durchzuführen, da die Fehlerbandbreite der einzelnen Parameter bzw. Teilschritte nicht mit ausreichender Sicherheit bekannt sind. Es können jedoch für die einzelnen Modelle Vergleiche zwischen Naturmessungen und Rechnungen gezeigt werden, anhand derer der Anwender einen Eindruck über die Güte der Rechenergebnisse erlangen kann.

In einer Sensitivitätsstudie für das Projekt "Europäisches Forschungszentrum für Maßnahmen zur Luftreinhaltung - PEF" (Flassak et al., 1996) wird der Einfluss von Unschärfen der Eingangsgrößen betrachtet. Einen großen Einfluss auf die Immissionskenngrößen zeigen demnach die Eingangsparameter für die Emissionsberechnungen sowie die Bebauungsdichte, die lichten Abstände zwischen der Straßenrandbebauung und die Windrichtungsverteilung.

Hinsichtlich der Fehlerabschätzung für die KFZ-Emissionen ist anzufügen, dass die Emissionen im Straßenverkehr bislang nicht direkt gemessen, sondern über Modellrechnungen ermittelt werden. Die Genauigkeit der Emissionen ist unmittelbar abhängig von den Fehlerbandbreiten der Basisdaten (d.h. Verkehrsmengen, Emissionsfaktoren, Fahrleistungsverteilung, Verkehrsablauf).

Nach BAST (1986) liegt die Abweichung von manuell gezählten Verkehrsmengen (DTV) gegenüber simultan erhobenen Zählwerten aus automatischen Dauerzählstellen bei ca. 10 %.

Für Emissionsfaktoren liegen derzeit noch keine statistischen Erhebungen über Fehlerbandbreiten vor. Deshalb wird vorläufig ein leicht erhöhter Schätzwert von ca. 20 % angenommen.

Weitere Fehlerquellen liegen in der Fahrleistungsverteilung innerhalb der nach Fahrzeugschichten aufgeschlüsselten Fahrzeugflotte, dem Anteil der mit nicht betriebswarmem Motor gestarteten Fahrzeuge (Kaltstartanteil) und der Modellierung des Verkehrsablaufs. Je nach betrachtetem Schadstoff haben diese Eingangsdaten einen unterschiedlich großen Einfluss auf die Emissionen. Untersuchungen haben beispielsweise gezeigt, dass die Emissionen, ermittelt über Standardwerte für die Anteile von leichten und schweren Nutzfahrzeugen und für die Tagesganglinien im Vergleich zu Emissionen, ermittelt unter Berücksichtigung ent-

sprechender Daten, die durch Zählung erhoben wurden, Differenzen im Bereich von +/-20 % aufweisen.

Die Güte von Ausbreitungsmodellierungen war Gegenstand weiterer PEF-Projekte (Röckle & Richter, 1995 und Schädler et al., 1996). Schädler et al. führten einen ausführlichen Vergleich zwischen gemessenen Konzentrationskenngrößen in der Göttinger Straße, Hannover, und MISKAM-Rechenergebnissen durch. Die Abweichungen zwischen Mess- und Rechenergebnissen lagen im Bereich von 10 %, wobei die Eingangsdaten im Fall der Göttinger Straße sehr genau bekannt waren. Bei größeren Unsicherheiten in den Eingangsdaten sind höhere Rechenunsicherheiten zu erwarten. Dieser Vergleich zwischen Mess- und Rechenergebnissen dient der Validierung des Modells, wobei anzumerken ist, dass sowohl Messung als auch Rechnung fehlerbehaftet sind.

Hinzuzufügen ist, dass der Fehler der Emissionen sich direkt auf die berechnete Zusatzbelastung auswirkt, nicht aber auf die Vorbelastung, d.h. dass die Auswirkungen auf die Gesamtmissionsbelastung geringer sind.

**AN H A N G A 2:**  
**IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSENNETZ**



## A2 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSEN- NETZ

In Kap. 4 sind die relativen Änderungen der Immissionen an den verkehrsbezogenen SPOT-Messstellen und der Festmessstation in Ludwigsburg aufgeführt. Für den Nullfall 2007 und die Maßnahmen M1 und M2 sind in **Abb. A2.1** bis **A2.3** die berechneten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte für alle betrachteten Hauptverkehrsstraßen dargestellt. Die Berechnungen erfolgen an den Straßenabschnitten mit bestehender Randbebauung für Bereiche vor der zur Fahrbahn nächstgelegenen Bebauung und für Straßenabschnitte ohne Randbebauung für einen Immissionsort in ca. 10 m Abstand zur Straße. In der Grafik sind Konzentrationswerte über 40 µg/m<sup>3</sup>, d.h. über dem ab 2010 gültigen NO<sub>2</sub>-Grenzwert der 22. BImSchV, in gelben und roten Farben dargestellt. An stark frequentierten Straßenabschnitten sind teilweise weiterhin hohe NO<sub>2</sub>-Belastungen prognostiziert, die bei entsprechenden Nutzungen zu Überschreitungen des Grenzwertes führen.

In **Abb. A2.4** bis **A2.6** sind die berechneten PM10-Jahresmittelwerte für den Nullfall 2007 und die Maßnahmen M1 und M2 für alle betrachteten Hauptverkehrsstraßen in Ludwigsburg aufgezeigt. In der Grafik sind Konzentrationswerte über 40 µg/m<sup>3</sup>, d.h. über dem PM10-Grenzwert der 22. BImSchV, in gelben und roten Farben dargestellt.

Aus den berechneten PM10-Jahresmittelwerten an den Hauptverkehrsstraßen in Ludwigsburg werden für die grafischen Darstellungen des gesamten Hauptverkehrsstraßennetzes mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von 50 µg/m<sup>3</sup> (Grenzwert) ab PM10-Jahresmittelwerten von 29 µg/m<sup>3</sup> angesetzt. Das Überschreiten dieses Schwellenwertes ist in **Abb. A2.4** bis **A2.6** ab der hellgrünen Farbdarstellung aufgezeigt, d.h. an allen grün, gelb und rot gekennzeichneten Straßenabschnitten kann eine Überschreitung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes bei entsprechenden Nutzungen erwartet werden. Damit sind auch noch mit den Maßnahmen hohe PM10-Kurzzeitbelastungen berechnet.

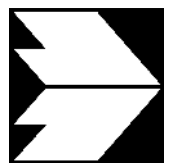
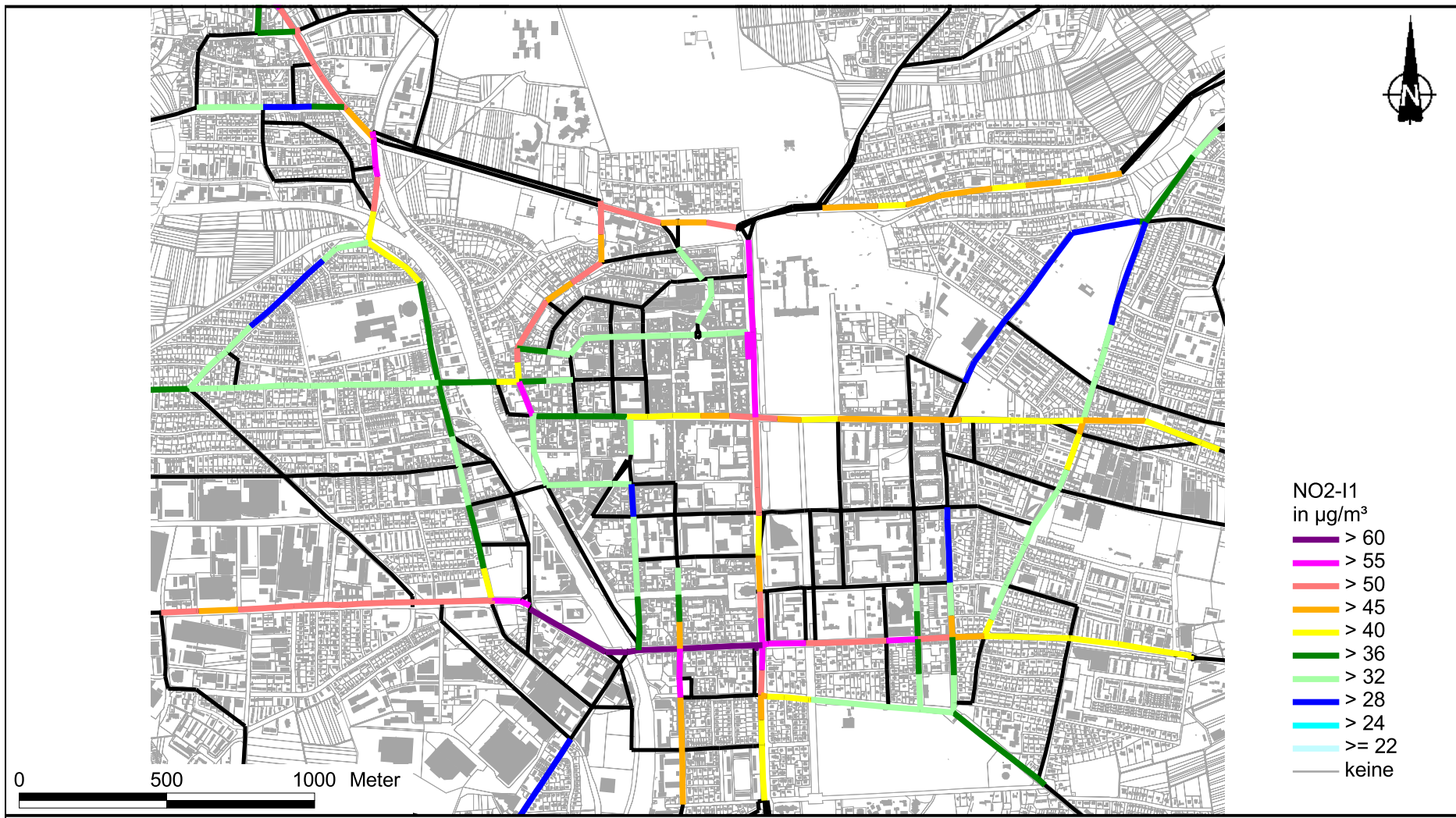


Abb. A2.1: NO2-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Nullfall im Jahr 2007 ohne Berücksichtigung von Maßnahmen

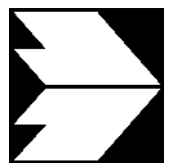
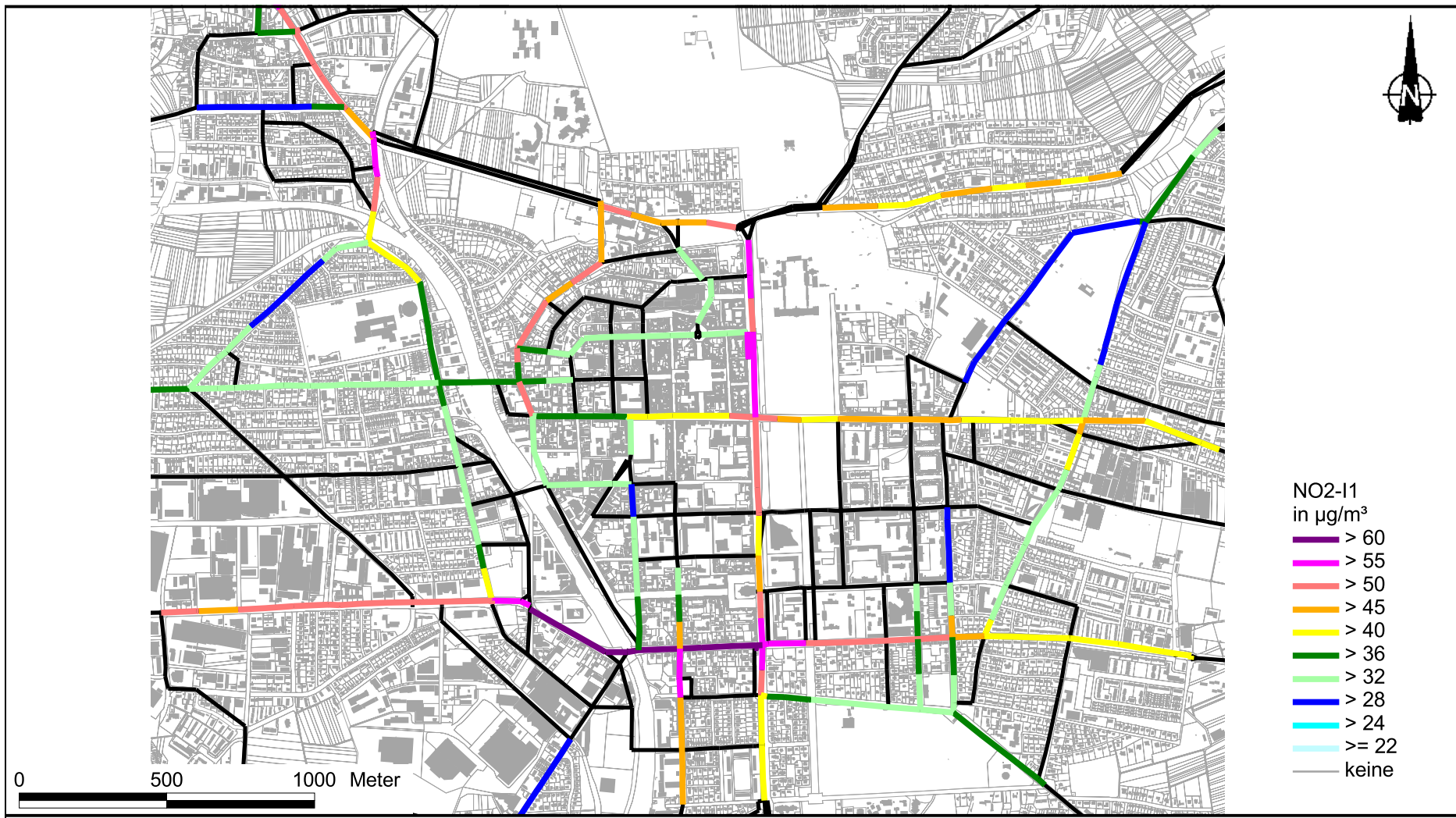


Abb. A2.2: NO2-Immissionen (Jahresmittelwerte) für die Maßname M1 im Jahr 2007

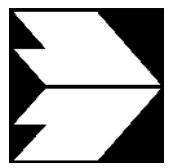
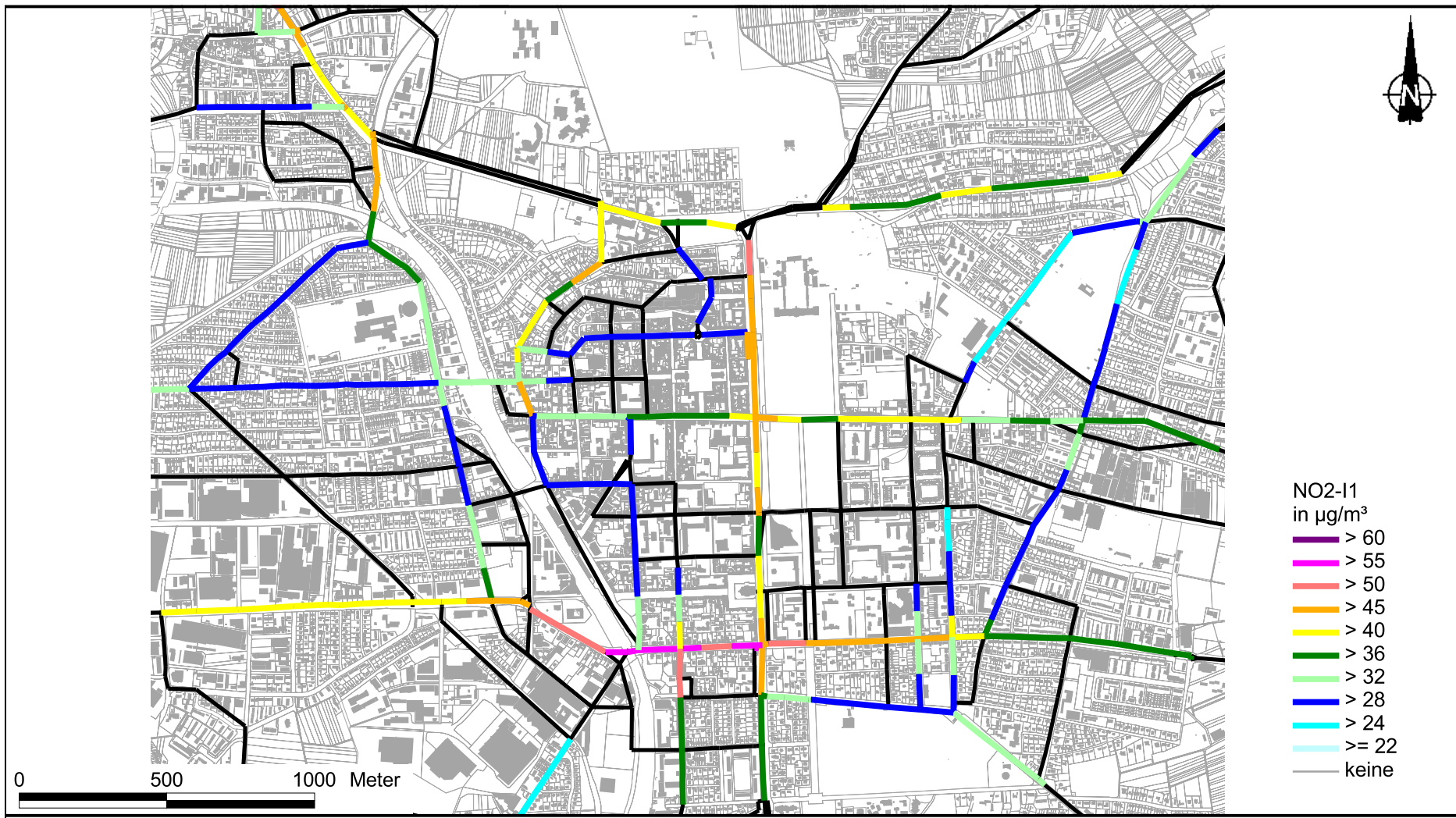


Abb. A2.3: NO2-Immissionen (Jahresmittelwerte) für die Maßnahme M2 im Jahr 2012

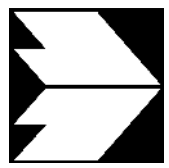
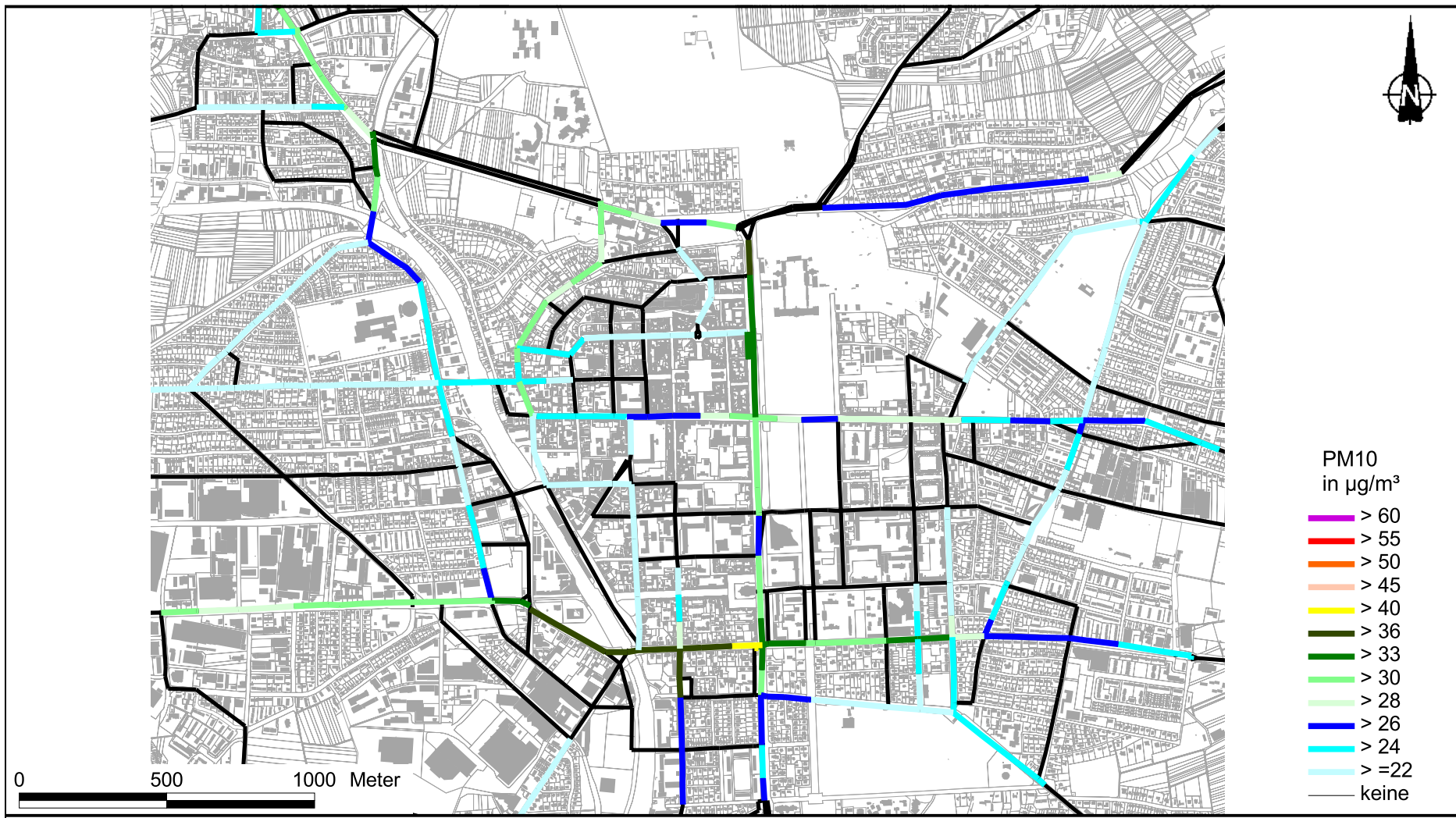


Abb. A2.4: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Nullfall im Jahr 2007 ohne Berücksichtigung von Maßnahmen

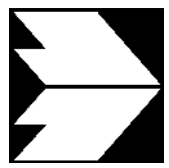
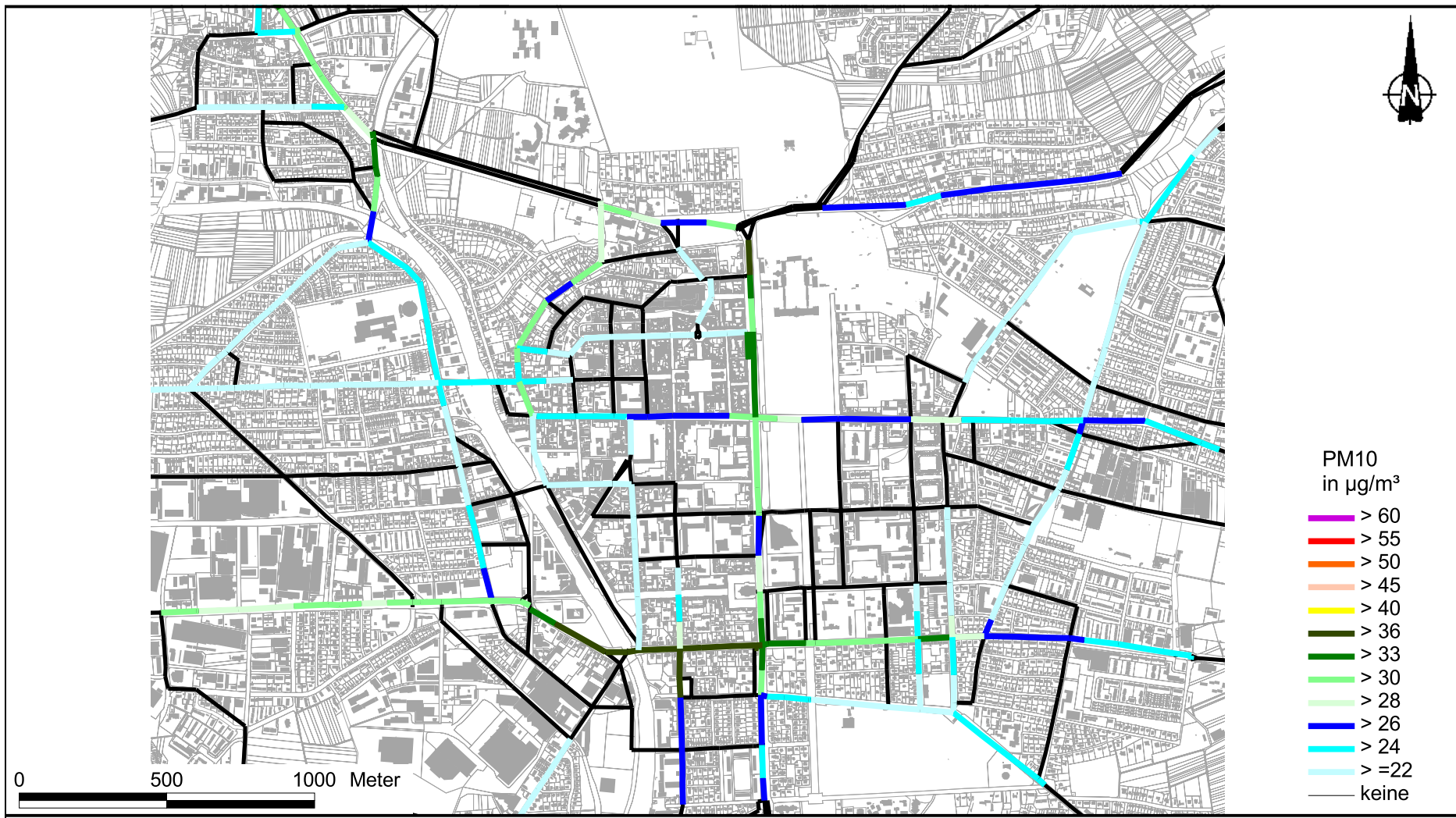


Abb. A2.5: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für die Maßnahme M1 im Jahr 2007

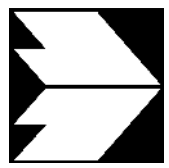
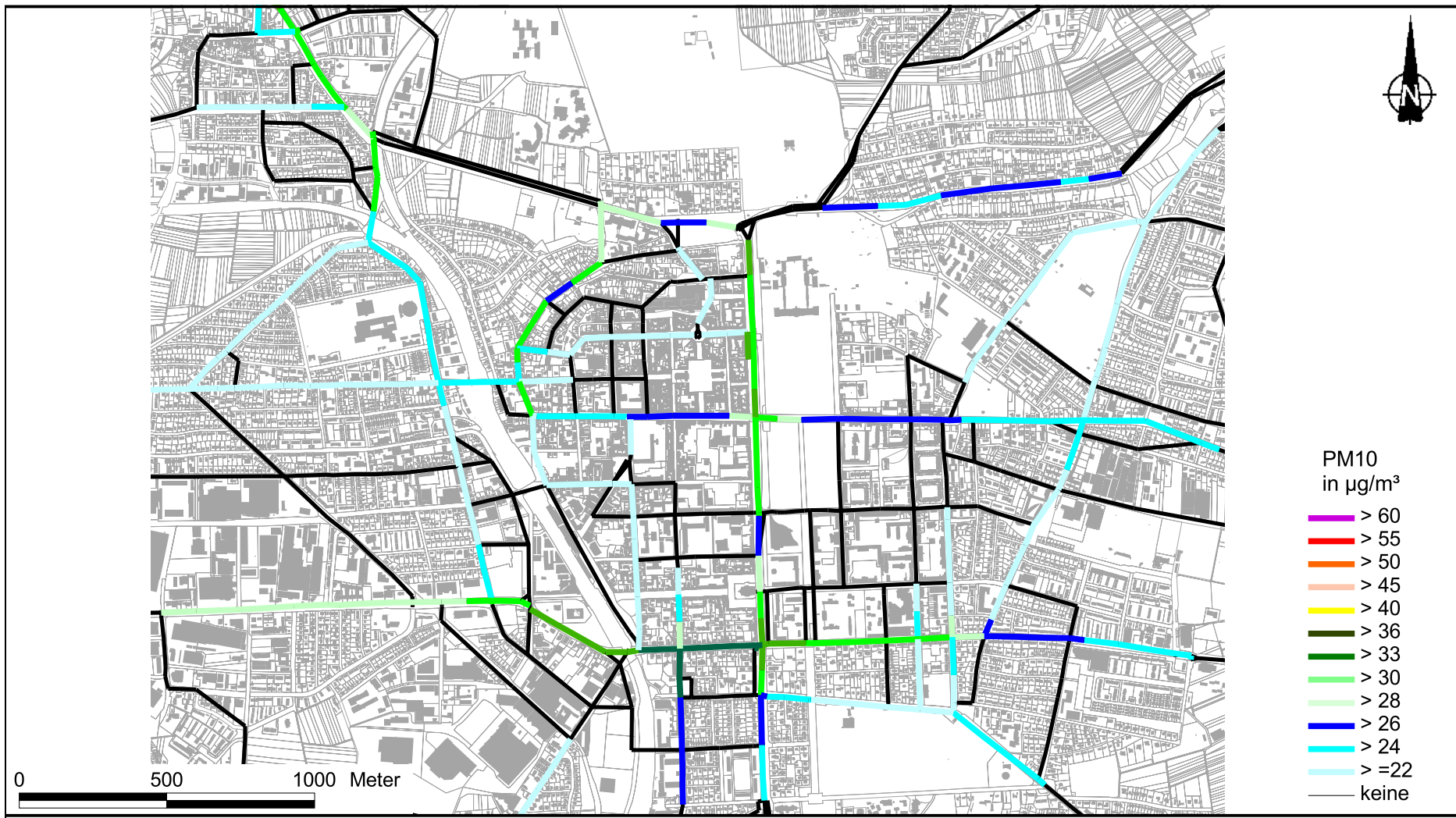


Abb. A2.6: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für die Maßnahme M2 im Jahr 2012