



**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 IMMISSIONSSEITIGEN  
AUSWIRKUNGEN VON VERKEHRLICHEN  
MASSNAHMEN DES AKTIONSPANS  
HEIDELBERG**

Auftraggeber: Regierungspräsidium Karlsruhe  
Hebelstraße 21  
76131 Karlsruhe

Dipl.-Geogr. T. Nagel

Dr.-Ing. W. Bächlin

Mai 2007  
Projekt 60684-06-01  
Berichtsumfang 40 Seiten

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN .....</b>	<b>1</b>
<b>1 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>2 AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>5</b>
<b>3 EINGANGSDATEN UND EMISSIONSFAKTOREN.....</b>	<b>6</b>
3.1 Lagedaten.....	6
3.2 Verkehr .....	6
3.3 Fahrzeugflotte.....	9
3.4 Emissionsfaktoren .....	13
3.4.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren .....	13
3.4.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren .....	14
3.4.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen .....	15
3.5 Meteorologische Daten.....	16
<b>4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN .....</b>	<b>17</b>
4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte.....	17
4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen.....	20
<b>5 LITERATUR .....</b>	<b>26</b>
<b>A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION.....</b>	<b>30</b>
<b>A2 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSEN- NETZ .....</b>	<b>36</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.

### **Hintergrundbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung**

Als Hintergrundbelastung 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 Hintergrundbelastung 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 die Einhaltung weiterer Kurzzeitwerte in Form des Stundenmittelwertes der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 200 µg/m<sup>3</sup>, der 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. Verkehrssituationen sind durch die Merkmale eines Straßenabschnitts wie Geschwindigkeitsbeschränkung, Ausbaugrad, Vorfahrtregelung etc. charakterisiert. In der vom Umweltbundesamt herausgegebenen Datenbank „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ sind für verschiedene Verkehrssituationen Angaben über Schadstoffemissionen angegeben.

### Feinstaub / PM10

Mit Feinstaub bzw. PM10 werden alle Partikel bezeichnet, die einen gröÙenselektierenden 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 Aktionsplan für den Regierungsbezirk Karlsruhe, Teilplan Heidelberg, nennt Maßnahmen zur Verringerung der Luftschadstoffbelastungen. Für folgende Maßnahme wurden Berechnungen der zu erwartenden Minderungen der Immissionen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführt:

**M2** Vorgezogenes ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone ab 01.01.2008 für Kfz der Schadstoffgruppe 1 nach der 35. BImSchV.

Für die Hauptverkehrsstraßen in Heidelberg werden die Auswirkungen dieser Maßnahme auf die Immissionen berechnet. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes von Heidelberg werden unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1, Stand 2004 und der aktuellen Erkenntnisse bezüglich Anteilen von Abrieb und Aufwirbelung an PM10 die Änderungen der Emissionen und darauf basierend der Immissionen gegenüber dem Referenzfall, dem Nullfall 2008, aufgezeigt. Betrachtet werden die Schadstoffe NO<sub>2</sub> und PM10.

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. Die Auswertungen beziehen sich im Wesentlichen auf die Straßenabschnitte an den Messstationen.

Für die Maßnahme **M2** werden in der emissionsseitigen Betrachtung zwei Vorgehensweisen verwendet. Einmal wird angenommen, dass die von dem Fahrverbot betroffenen Fahrten durch erlaubte Fahrten ersetzt werden (**M2**). In einem weitergehenden Schritt wird angenommen, dass die vom Fahrverbot betroffenen PKW-Fahrten entfallen (**M2 max**).

Für die NO<sub>x</sub>-Emissionen sind gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2008, mit der Maßnahme **M2** durch die Flottenumstellung ca. 95 %, mit der Maßnahme **M2** und wegfallenden Fahrten (**M2 max**) ca. 82 % der Emissionen zu erwarten.

Für die PM10-Emissionen sind gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2008, mit der Maßnahme **M2** durch die Flottenumstellung ca. 95 %, mit der Maßnahme **M2** und wegfallenden Fahrten (**M2 max**) ca. 86 % der Emissionen zu erwarten.

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

Die berechneten NO<sub>2</sub>-Belastungen weisen gegenüber dem Referenzzustand an den Straßenmesspunkten mit der Maßnahme **M2** ca. 98 %, mit der Maßnahme **M2** und entfallenden Fahrten (**M2 max**) zwischen 93 % und 94 % der Gesamtbelastungen auf. An den Straßenmessstationen sind gegenüber dem Nullfall leichte Verringerungen der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte zu erwarten, die allerdings nicht dazu führen, dass der für das Jahr 2008 geltende Übergangsbeurteilungswert von 44 µg/m<sup>3</sup> und der ab 2010 gültige Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> eingehalten wird.

Die berechneten PM10-Immissionen weisen gegenüber dem Referenzzustand an den Straßenmesspunkten mit der Maßnahme **M2** zwischen 97 % und 99 %, mit der Maßnahme **M2** und entfallenden Fahrten (**M2 max**) zwischen 94 % und 96 % der Gesamtbelastungen auf. An den Straßenmessstationen sind gegenüber dem Nullfall leichte Verringerungen der PM10-Jahresmittelwerte zu erwarten.

Aus den berechneten PM10-Jahresmittelwerten werden 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. Danach ist an der Luftmessstation Heidelberg eine Einhaltung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes zu erwarten. An der Karlsruher Straße wird der Schwellenwert zur Ableitung der PM10-Kurzzeitbelastung im Nullfall leicht überschritten; mit der Maßnahme **M2** und wegfallenden Fahrten (**M2 max**) wird der Schwellenwert unterschritten. An den Standorten Mittermaierstraße und Brückenstraße ist trotz Maßnahme **M2** eine Überschreitung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes prognostiziert.

Insgesamt ist aus den Ergebnissen der Berechnungen für die Maßnahme **M2** zu folgern, dass mit dem Ausschluss der älteren Fahrzeuge aus der Kfz-Fahrzeugflotte Verringerungen der motorbedingten Schadstofffreisetzungen verbunden sind, die auch zu leichten Verringerungen der NO<sub>2</sub>- und PM10-Belastungen führen. Sofern mit dieser Maßnahme auch eine Verringerung der Verkehrsbelegung bewirkt werden kann, sind deutlichere Reduktionen der Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen zu erwarten, wie die Ausführungen in der vorangegangenen Studie „Maßnahmenbetrachtungen zu PM10 in Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen“ (Lohmeyer, 2004) belegen.

## 2 AUFGABENSTELLUNG

Für den Luftreinhalteplan Heidelberg wurde basierend auf der Überschreitung eines Straßenmesswertes eine Maßnahmenliste in Abstimmung mit Fachgremien erarbeitet. Nachdem auch Überschreitungen des PM10-Kurzzeitbelastungswertes festgestellt wurden, war ein Aktionsplan zu erstellen, der 7 Maßnahmen nennt. Für die im LRP genannte Maßnahme **M13** „Ganzjähriges, flächenhaftes Fahrverbot in Heidelberg ab 2010 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung“ sind im Rahmen des Aktionsplans Aussagen über die immissionsseitigen Auswirkungen bezogen auf das Jahr 2008 erforderlich, das ist die Maßnahme **M2** „Vorgezogenes ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone ab 01.01.2008 für Kfz der Schadstoffgruppe 1 nach der 35. BImSchV“. Zum Vergleich wird der Nullfall im Jahr 2008 ohne Maßnahme gegenübergestellt.

Für die Hauptverkehrsstraßen in Heidelberg werden die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen berechnet. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes von Heidelberg werden unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1, Stand 2004 und der Erkenntnisse 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.

### 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 Heidelberg liegt im Norden von Baden-Württemberg in dem Bereich, in dem das Neckartal von Osten den südlichen Odenwald durchschneidend in den Oberrheingraben stößt. Die Messstationen zur Erfassung der Luftschadstoffbelastungen liegen alle im Bereich des Oberrheingrabens.

#### 3.2 Verkehr

Für die Betrachtungen der verkehrsbedingten Maßnahmen zum Luftreinhalte-/Aktionsplan Heidelberg wurden durch die Stadtverwaltung Heidelberg Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt. Die Verkehrsdaten liegen als berechnete Verkehrsmengen, ausgedrückt als durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV), für alle Straßen vor. Von dieser Datenbasis wurde ein Auszug mit den Straßenabschnitten, die eine Verkehrsbelegung über 5 000 Kfz/Tag aufweisen, erzeugt und übergeben. Angaben für den LKW-Verkehr liegen nicht detailliert vor; der mittlere LKW-Anteil der Hauptverkehrsstraßen von Heidelberg wurde mit ca. 5 % angegeben.

Im Luftreinhalteplan ist als Maßnahme **M7** die Umwidmung der B 3 vorgesehen. Die damit verbundenen Verlagerungseffekte sind in den Verkehrsbelegungsdaten berücksichtigt.

Die Verkehrsbelegungsdaten sind in **Abb. 3.1** aufgezeigt.

Für die Maßnahme **M2** - „Vorgezogenes ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone ab 01.01.2008 für Kfz der Schadstoffgruppe 1 nach der 35. BImSchV“ werden in der emissionsseitigen Betrachtung zwei Vorgehensweisen verwendet. Einmal wird angenommen, dass die von dem Fahrverbot betroffenen Fahrten durch erlaubte Fahrten ersetzt werden (**M2**). In einem weitergehenden Schritt wird angenommen, dass die vom Fahrverbot betroffenen PKW-Fahrten entfallen (**M2 max**).

Für die Standorte der Straßenmessstationen in Heidelberg sind die Verkehrsbelegungsdaten ausgedrückt als Anzahl der Fahrzeuge pro Tag in **Abb. 3.2** (oben) für den Nullfall 2008 und für die beiden Ansätze der Maßnahme **M2** aufgezeigt. Die Angabe der durchschnittlichen

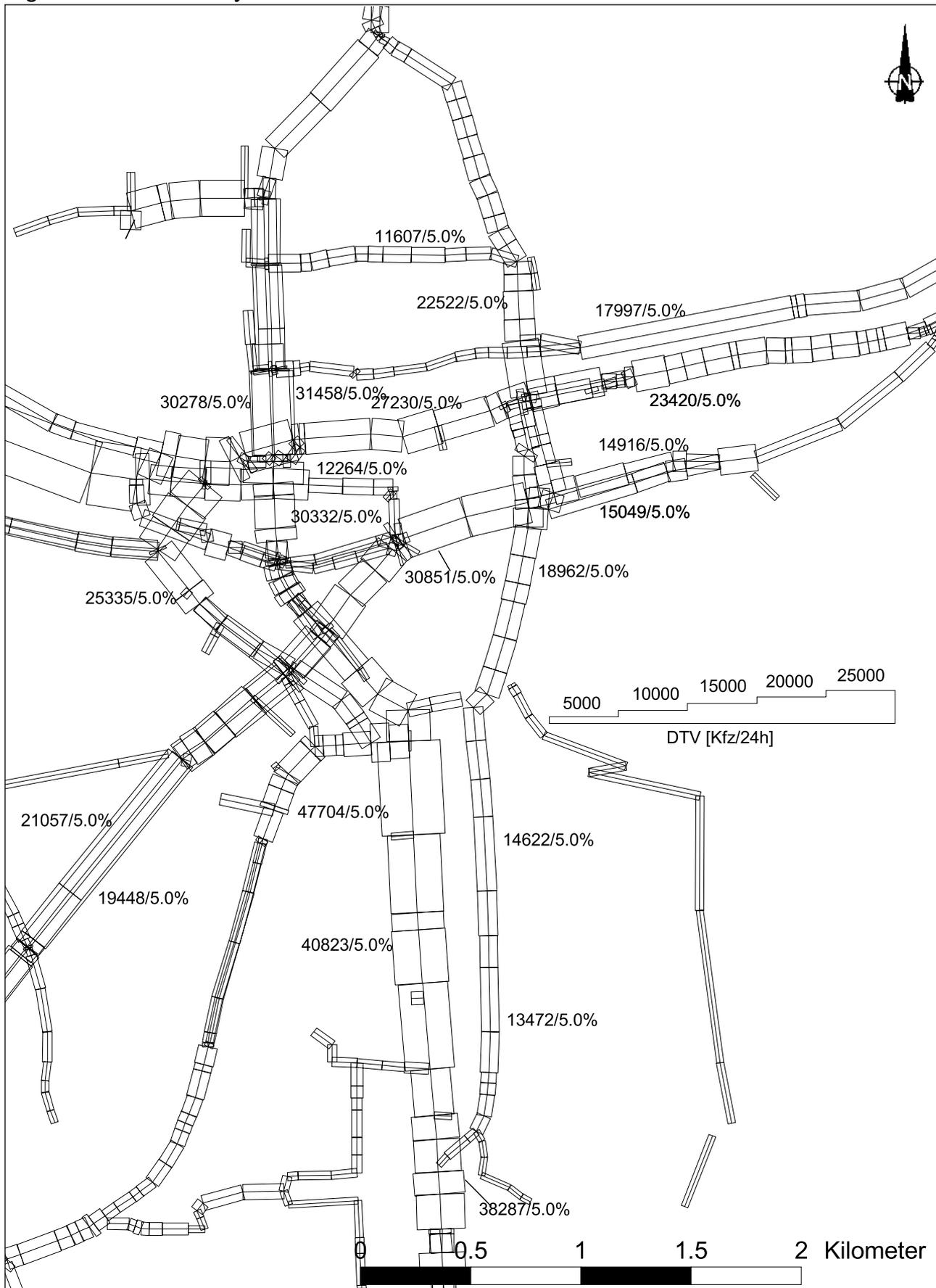


Abb. 3.1: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in Kfz/24h und LKW-Anteil in % im Untersuchungsgebiet für den Nullfall 2008 und Maßnahme M2

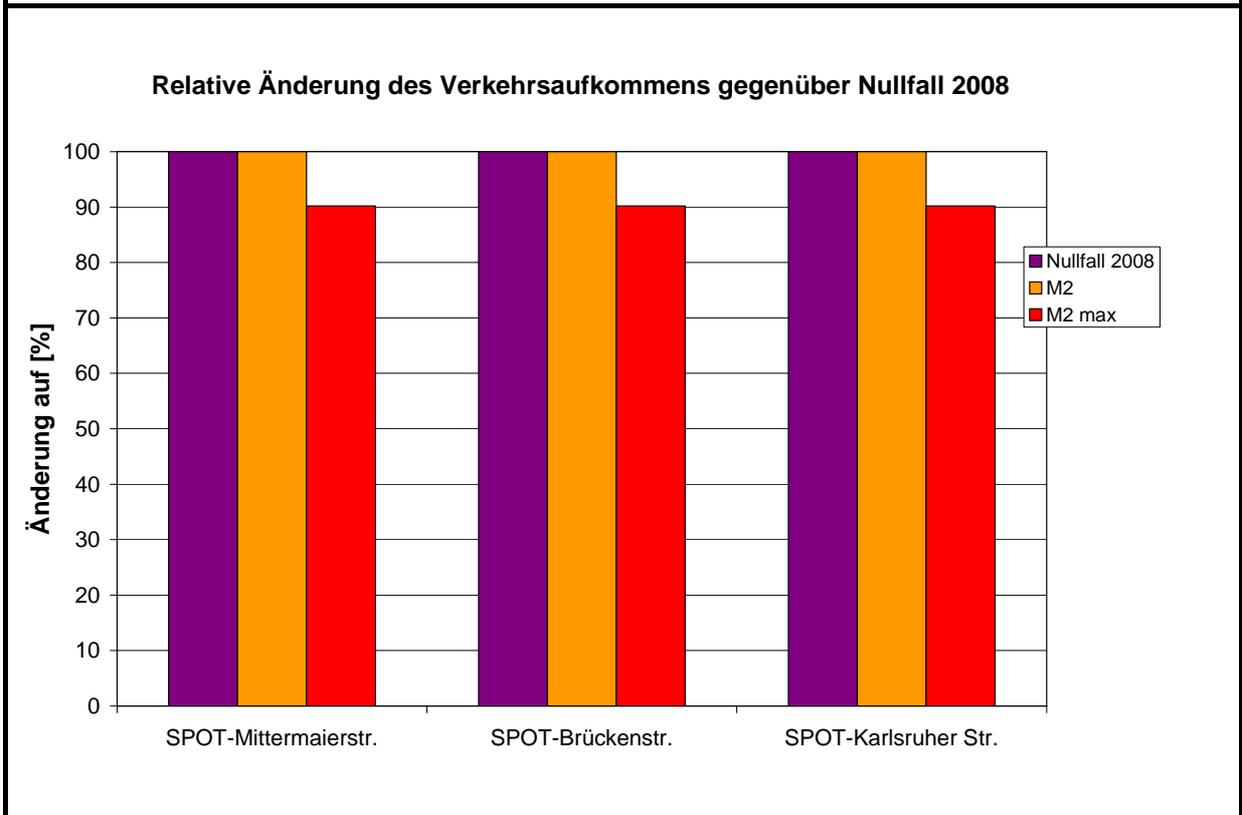
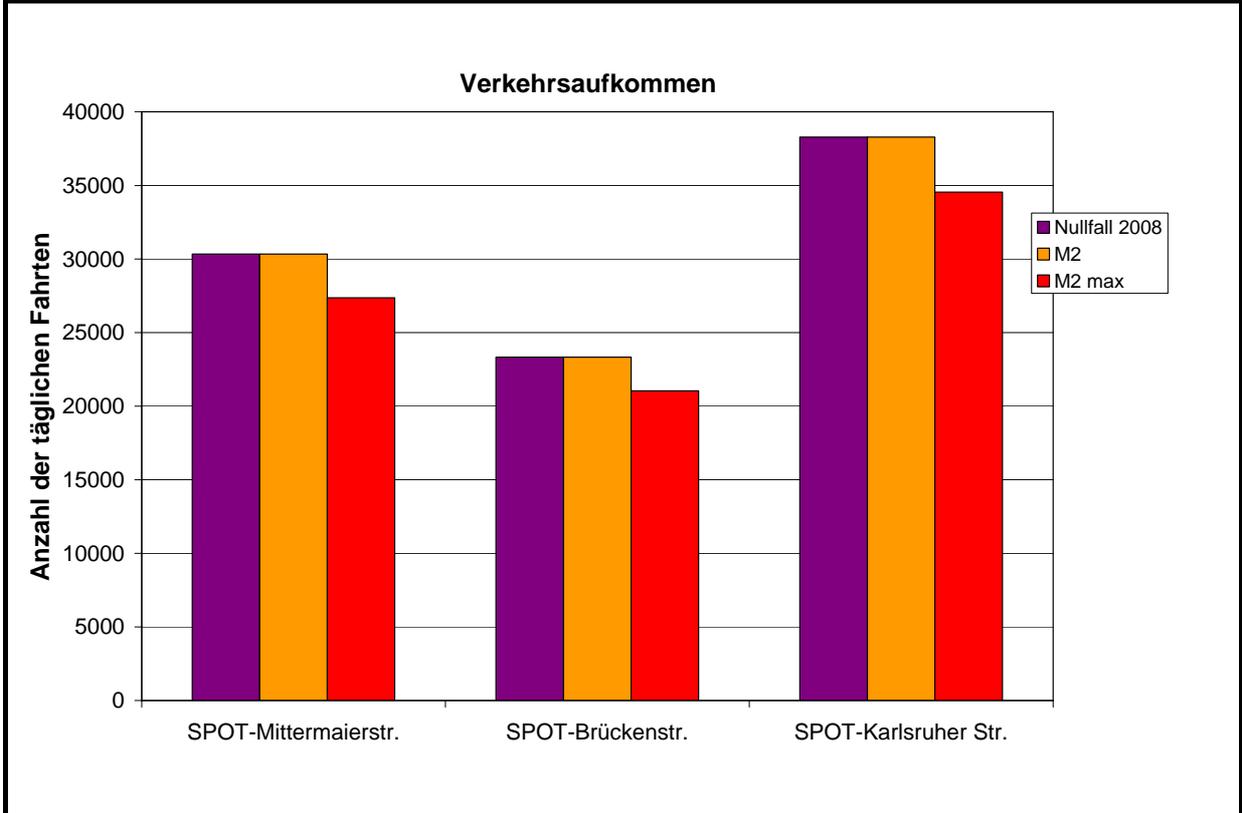


Abb. 3.2: Verkehrsbelegung an der Mittermaier-, Brücken-, und der Karlsruher Straße in Heidelberg für die betrachteten Maßnahmen und den Nullfall 2008  
 oben: Anzahl der täglichen Fahrten  
 unten: Relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008

täglichen Verkehrsstärke (DTV) beinhaltet alle Kfz. In **Abb. 3.2** (unten) ist die relative Änderung bezogen auf den Referenzzustand aufgeführt.

### 3.3 Fahrzeugflotte

Die Zusammensetzung der dynamischen Fahrzeugflotte, d.h. die Zusammensetzung der auf den Straßen verkehrenden Fahrzeuge, wurde durch den Auftraggeber für Baden-Württemberg für das Jahr 2008 zur Verfügung gestellt, basierend auf Daten der LUBW und ist in **Abb. 3.3** 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.

Der Anteil der dieselbetriebenen PKW-Fahrten umfasst im Jahr 2008 ca. 30.7 %, der Anteil der dieselbetriebenen leichten Nutzfahrzeugfahrten ca. 87.2 %; bei den Bussen und schweren Nutzfahrzeugen setzen sich die Fahrten ausschließlich aus dieselbetriebenen zusammen.

Für die Maßnahme **M2** werden die in der Datengrundlage beschriebenen Zusammensetzungen der Fahrzeugflotten verändert, indem die vom Fahrverbot betroffenen Fahrzeugarten aus der Fahrzeugflotte ausgeschlossen werden. In **Abb. 3.4** sind die prozentualen Anteile der Fahrten im Innerortsverkehr aufgezeigt, die von dem Fahrverbot betroffen sind.

Von den PKW-Fahrten sind im Jahr 2008 durch die Maßnahme **M2** ca. 5.3 % der Fahrten vom Fahrverbot betroffen, die sich zu ca. 3.4 % der Fahrten mit Ottomotoren und zu ca. 1.9 % der Fahrten mit Dieselmotoren zusammensetzen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 13.5 % der Lieferwagenfahrten und ca. 10.7 % 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 wird für **M2** einmal angenommen, dass diese Fahrten überwiegend durch Fahrten mit Fahrzeugen ersetzt werden, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Für den PKW-Verkehr wird ebenfalls rechnerisch eine Änderung der Fahrzeugflotte durchgeführt.

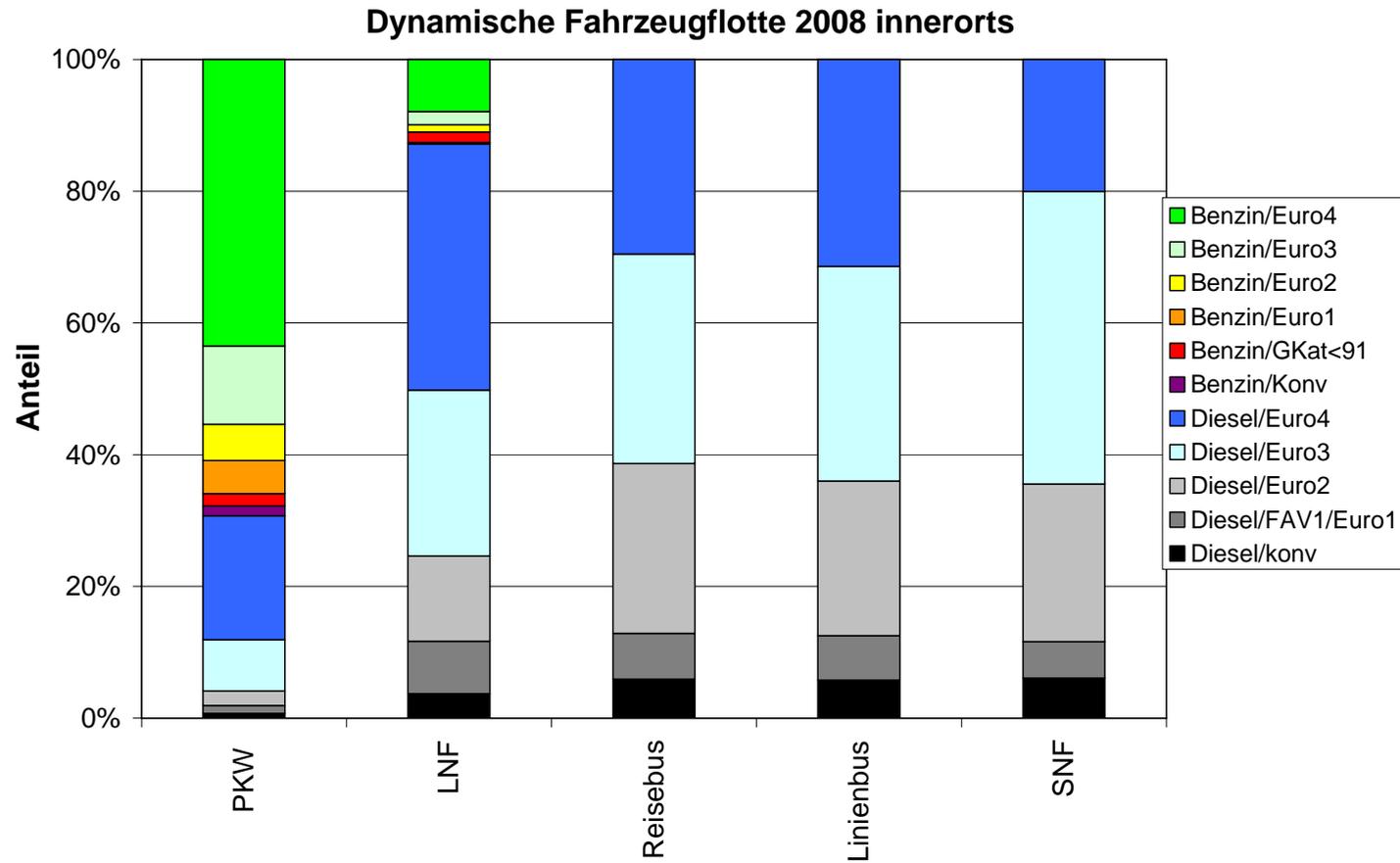


Abb. 3.3: Zusammensetzung der dynamischen Kfz-Flotte für das Jahr 2008 entsprechend HBEFA, unterteilt nach PKW, leichte Nutzfahrzeuge (LNF), Reisebusse, Linienbusse und schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

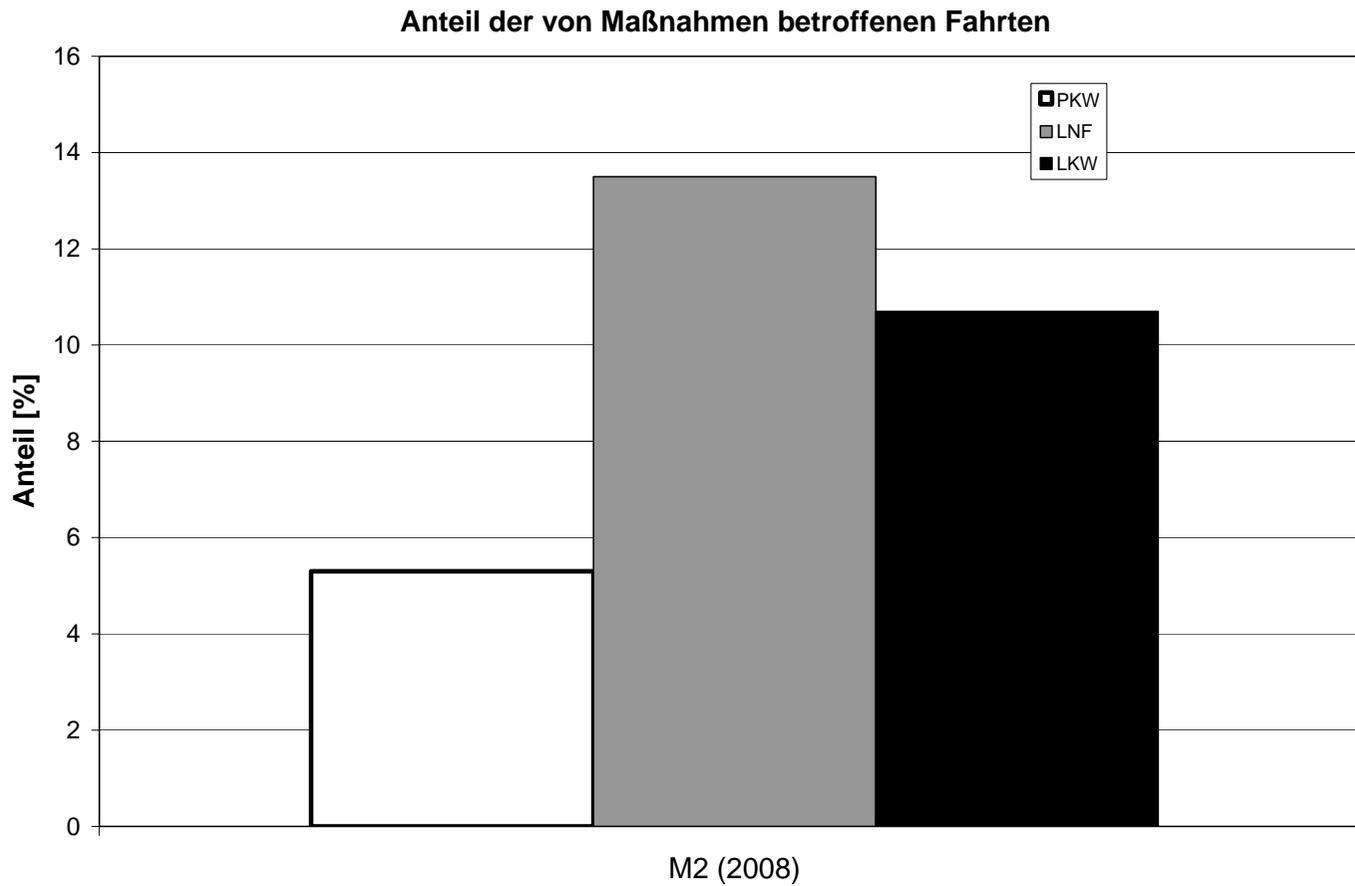


Abb. 3.4: Anteil der von den Fahrverboten der Maßnahme M2 betroffenen Fahrten getrennt für PKW, Lieferwagen (LNF) und LKW

Nach Bekanntgabe der Emissionsschlüsselnummern für die Anwendung der 35. BImSchV (Kennzeichnungsverordnung) wurde für das Stadtgebiet von Stuttgart die Anzahl der von Fahrverboten betroffenen gemeldeten Kfz ermittelt. Danach sind ca. 15.7 % der gemeldeten PKW vom Fahrverbot betroffen, die sich mit 12.9 % aus Fahrzeugen mit Ottomotoren und 2.8 % aus Fahrzeugen mit Dieselmotoren zusammensetzen. Diese ermittelte hohe Anzahl betroffener PKW aufgrund der Emissionsschlüsselnummer, insbesondere PKW mit Ottomotoren, hängt teilweise damit zusammen, dass PKW keine Kennzeichnung als GKat haben, die Emissionen aber die Vorgaben für Euro 1-Anforderungen einhalten. Derzeit wird geprüft, ob solche Fahrzeuge nicht doch vom Fahrverbot ausgenommen werden. Aus dem Vergleich der statischen mit der dynamischen Flotte von Baden-Württemberg kann abgeleitet werden, dass neuere Fahrzeuge im Mittel eine höhere Fahrleistung aufweisen und auch im Stadtgebiet häufiger an den Fahrten beteiligt sind. Dementsprechend sind ca. 9.8 % der PKW-Fahrten im Stadtgebiet von dem Fahrverbot betroffen. Diese Betrachtungen werden auf das Stadtgebiet von Heidelberg übertragen als weitergehende mögliche Auswirkungen der Maßnahme **M2** max.

In diesem weitergehenden Ansatz soll innerhalb der Umweltzone angesetzt werden, dass die vom Fahrverbot betroffenen PKW-Fahrten ersatzlos entfallen; die verkehrende PKW-Flotte setzt sich dann nur aus Fahrten mit erlaubten PKW entsprechend der Kennzeichnungsverordnung und Emissionsschlüsselnummern zusammen.

Weiterhin wurde in Stuttgart ermittelt, dass ca. 32.1 % der gemeldeten Nutzfahrzeuge von dem Fahrverbot betroffen sind, die sich aus 3.1 % der Fahrzeuge mit Ottomotoren und 29 % der Fahrzeuge mit Dieselmotoren zusammensetzen. Eine Differenzierung nach leichten und schweren Nutzfahrzeugen wurde nicht ausgewertet.

Für den Wirtschaftsverkehr ist anzunehmen, dass der Fahrzeugbestand zur Aufrechterhaltung des Wirtschaftslebens eingesetzt wird und überwiegend erforderlich ist. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme **M2** max wird eine überwiegende Verlagerung der Fahrten auf Fahrzeuge angesetzt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden; wesentliche Verringerungen der Fahrten des Wirtschaftsverkehrs können nicht angenommen werden.

Die pragmatische Umsetzung dieser weitergehenden emissionsseitigen Betrachtung der Maßnahme **M2** sieht eine Reduktion des DTV in der Umweltzone um 9.8 % bei gleich bleibendem LKW-Anteil vor.

### 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“ (Reifenantrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen.

Im Folgenden werden Grundlagen der „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ Emissionsfaktoren beschrieben, dann erfolgt die Anwendung für Heidelberg 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 den Lagedaten entnommen, der Kaltstarteinfluss innerorts für PKW wird entsprechend HBEFA angesetzt, der Kaltstarteinfluss für LKW wird aus UBA (1995) entnommen.

In einer aktuellen 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 Partikelmissionen 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) beschriebenen Vorgehensweise angesetzt. Es werden zur Berechnung der Emissionen für die Summe aus Reifen-, Brems-, Kupplungs- und Straßenabrieb sowie Wiederaufwirbelung von eingetragenen Straßenstaub die in **Tab. 3.1** exemplarisch für die innerstädtischen Verkehrssituationen an den Standorten der Messstationen in Heidelberg aufgeführten Emissionsfaktoren verwendet.

Die Bildung von so genannten sekundären Partikeln wird mit der angesetzten Hintergrundbelastung berücksichtigt, soweit dieser Prozess in großen Entfernungen (10 km bis 50 km) von den Schadstoffquellen relevant wird. Für die kleineren Entfernungen sind die sekundären Partikel in den aus Immissionsmessungen abgeleiteten nicht motorbedingten Emissionsfaktoren enthalten.

Verkehrssituation (Kürzel)	Geschwindigkeit [km/h]	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2008							
		NO <sub>x</sub>		Partikel (nur Abgas)		Partikel (nur Abrieb und Aufwirb.)		Ruß	
		PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
HVS3	39.1	0.272	6.997	0.0093	0.1865	0.04	0.38	0.0116	0.1066
HVS4	32.0	0.286	8.445	0.0097	0.2505	0.05	0.45	0.0118	0.1322
LSA2	28.0	0.299	8.539	0.0102	0.2667	0.06	0.60	0.0121	0.1387
M2-HVS3	39.1	0.249	6.855	0.0079	0.1529	0.04	0.38	0.0108	0.0932
M2-HVS4	32.0	0.262	8.294	0.0084	0.2032	0.05	0.45	0.0110	0.1133
M2-LSA2	28.0	0.273	8.398	0.0087	0.2148	0.06	0.60	0.0112	0.1179

Tab. 3.1: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den betrachteten Straßenabschnitten in Heidelberg für das Bezugsjahr 2008 nach HBEFA und für die Maßnahme **M2**

### 3.4.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen

Für die Maßnahme **M2** werden für das Bezugsjahr 2008 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 neueste verfügbare Technik eingesetzt wird.

Entsprechend der Kennzeichnungsverordnung besteht für Dieselfahrzeuge auch die Möglichkeit der Nachrüstung mit Partikelfiltern für einen Teil der Fahrzeuge. Bei der Maßnahme **M2** im Bezugsjahr sind beispielsweise Filternachrüstungen für EURO1 Fahrzeuge möglich. Entsprechend der Verordnung müssen die Partikelemissionen durch den Filter für PKW und leichte Nutzfahrzeuge um mindestens 30 %, bei schweren Nutzfahrzeugen um mindestens 50 % verringert werden. In der Fachliteratur werden teilweise Angaben über die Minderungswirkungen von Partikelfiltern angegeben. Nachrüstsysteme für EURO2 und EURO3 sind im allgemeinen Diesel Oxidation Catalyst (DOC) in Kombination mit Diesel Particle Filter (DPF). Die Minderungsraten bei diesem Typ hängen u.a. vom NO<sub>2</sub>/Ruß-Verhältnis, von der Länge des Filters und von der Abgastemperatur ab. Deshalb liegen die Minderungsraten beim PKW bei ca. 40 %, beim LNF bei ca. 70 % und beim SV/Buss bei ca. 70-80 % (Brück et

al., 2005, Tartovsky et al., 2005, Twin-Tec, 2005). Der Einsatz dieser Informationen bei der Berechnung der Emissionsfaktoren ergibt gegenüber der oben beschriebenen Verteilung auf die nicht vom Verbot betroffenen Fahrzeugkonzepte geringere Minderungen der Emissionsfaktoren der Fahrzeugflotte. Hier wird die oben genannte Vorgehensweise entsprechend der Aufteilung der vorliegenden Verteilung verwendet.

Die an den Messstationen in Heidelberg angesetzten Verkehrssituationen sind in **Tab. 3.1** aufgeführt. In dieser Tabelle ist ein Überblick über die zu diesen Verkehrssituationen gehörenden Emissionsfaktoren für das zu betrachtende Bezugsjahr 2008 gegeben.

### 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.

Für Heidelberg liegen Messdaten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten an der Luftmessstation Heidelberg im Oberrheingraben vor. Die Hauptwindrichtungen werden durch südöstliche Winde geprägt. Weitere Nebenmaxima der Häufigkeiten werden durch Winde aus nordwestlicher sowie östlicher Richtung gekennzeichnet. Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit beträgt in Messhöhe aufgrund der Lage in städtischer Umgebung ca. 1.7 m/s. Diese Daten werden für die Ausbreitungsrechnung angesetzt, wobei die Ausbreitungsklassen aus den Bewölkungsangaben der Wetterstation Mannheim abgeleitet werden.

## 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 Heidelberg berechnet. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse konzentriert sich im Folgenden auf die Straßenabschnitte, 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 das Bezugsjahr 2008 ohne und mit Maßnahmen aufgeführt.

Die berechneten mittleren täglichen Emissionen sind in **Abb. 4.1** (oben) und **Abb. 4.2** (oben) und als relative Darstellungen bezogen auf die Emissionsmodellierung des Referenzzustandes, d.h. des Nullfalls 2008, in **Abb. 4.1** (unten) und **Abb. 4.2** (unten) aufgezeigt. Bei den Darstellungen sind die Summe aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ Partikelemissionen sowie die NO<sub>x</sub>-Emissionen betrachtet.

Entsprechend dem Verkehrsaufkommen und den angesetzten Verkehrssituationen sind von den drei betrachteten Straßenabschnitten in der Karlsruher Straße die höchsten Emissionen und an der Brückenstraße die geringsten Emissionen berechnet. Der relative Vergleich zum Nullfall 2008 zeigt für die betrachteten Ansätze der Maßnahme **M2** für die drei Abschnitte vergleichbare Änderungen.

Für die NO<sub>x</sub>-Emissionen sind gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2008, mit der Maßnahme **M2** durch die Flottenumstellung ca. 95 %, mit der Maßnahme **M2** und wegfallenden Fahrten ca. 82 % der Emissionen zu erwarten.

Für die PM10-Emissionen sind gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2008, mit der Maßnahme **M2** durch die Flottenumstellung ca. 95 %, mit der Maßnahme **M2** max (wegfallenden Fahrten) ca. 86 % der Emissionen zu erwarten.

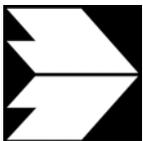
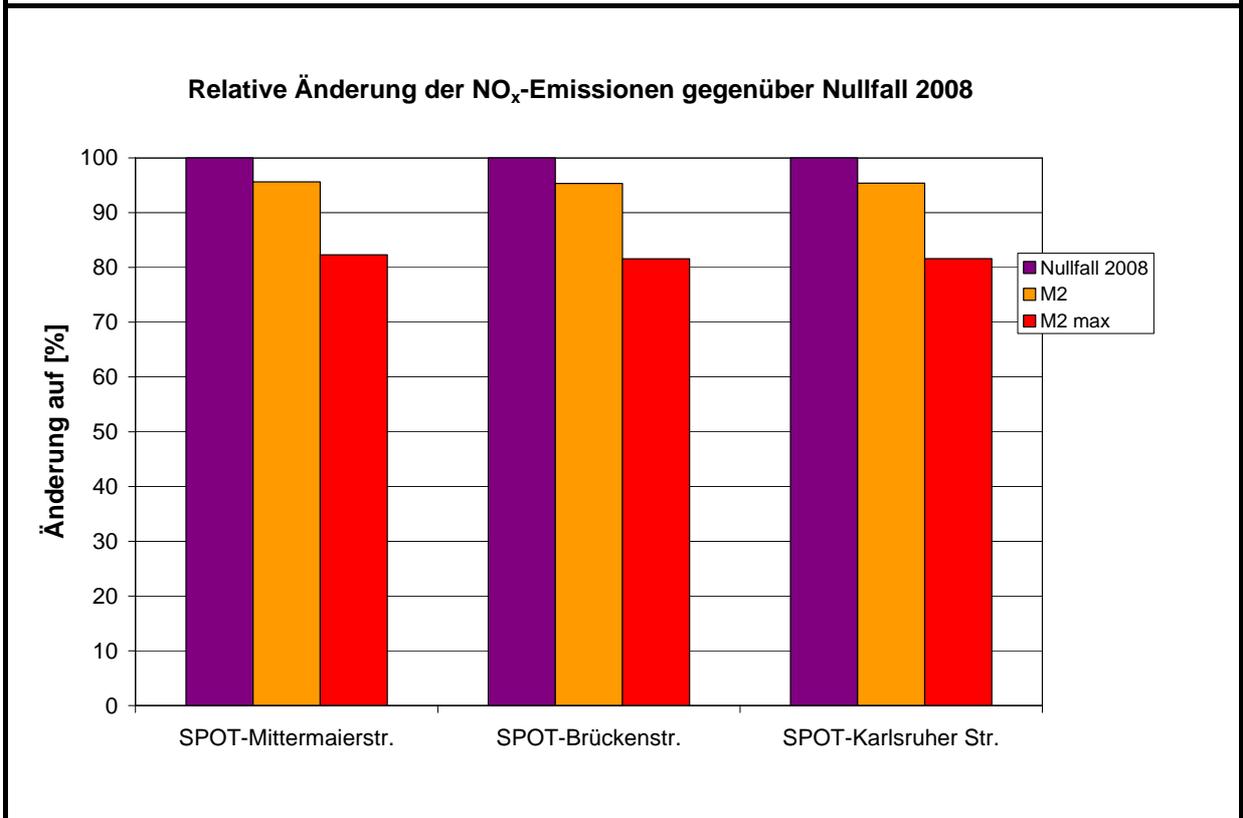
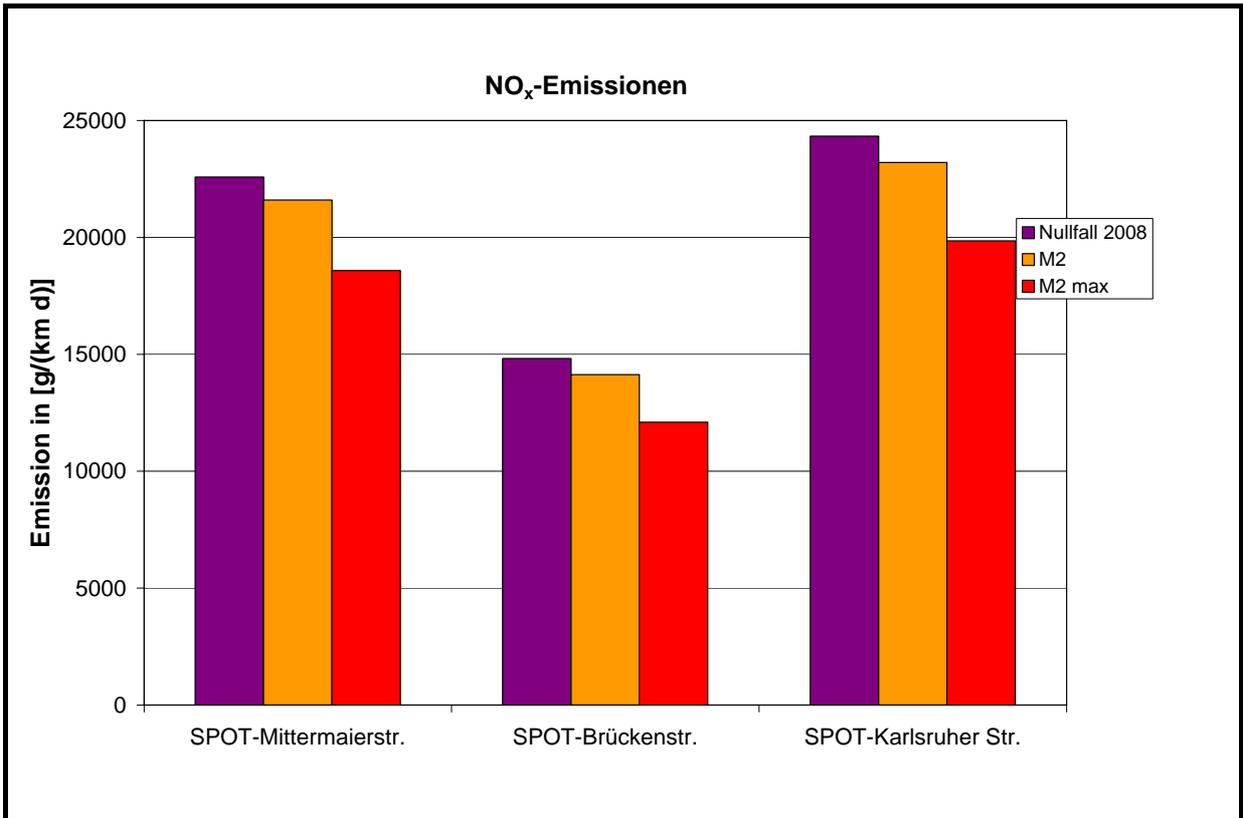


Abb. 4.1: NO<sub>x</sub>-Emissionen an der Mittermaier-, Brücken- und der Karlsruher Straße in Heidelberg für die betrachteten Maßnahmen und den Nullfall 2008  
 oben: NO<sub>x</sub>-Emissionen  
 unten: Relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008

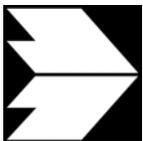
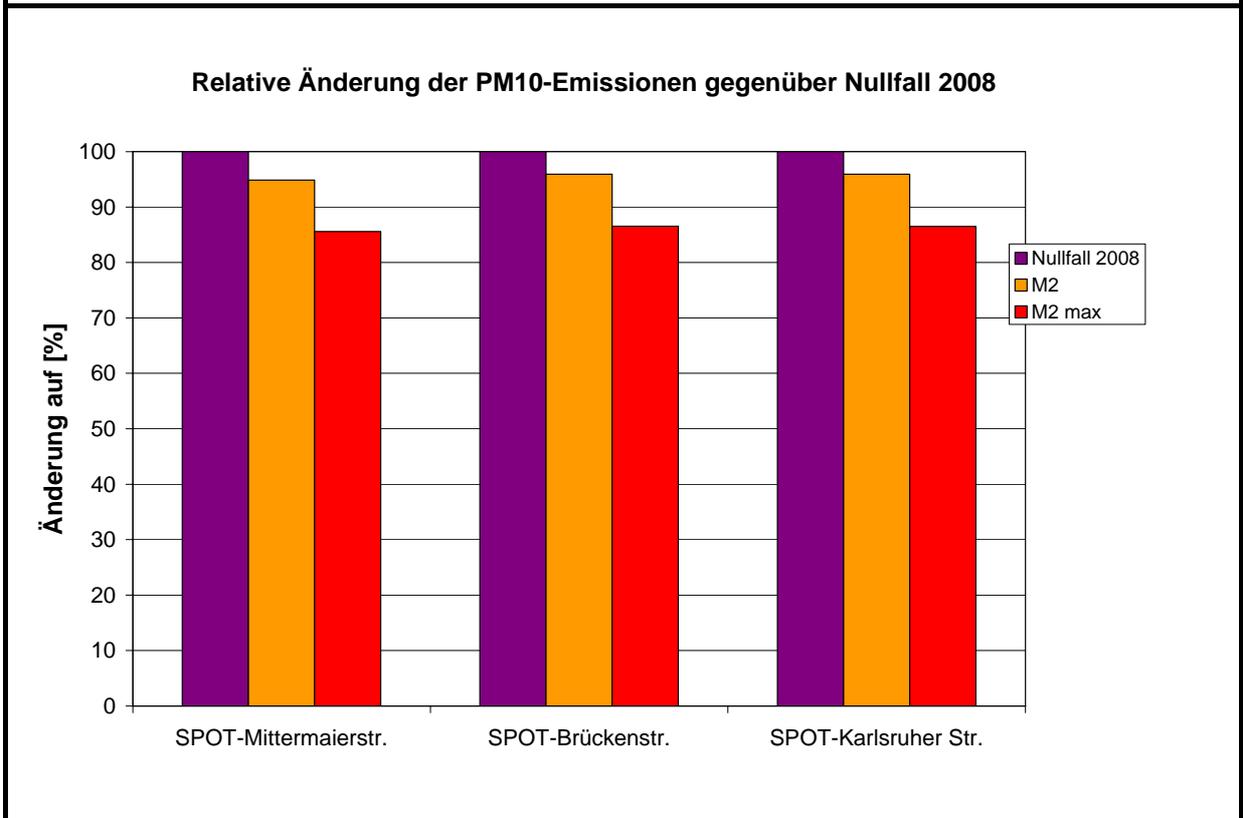
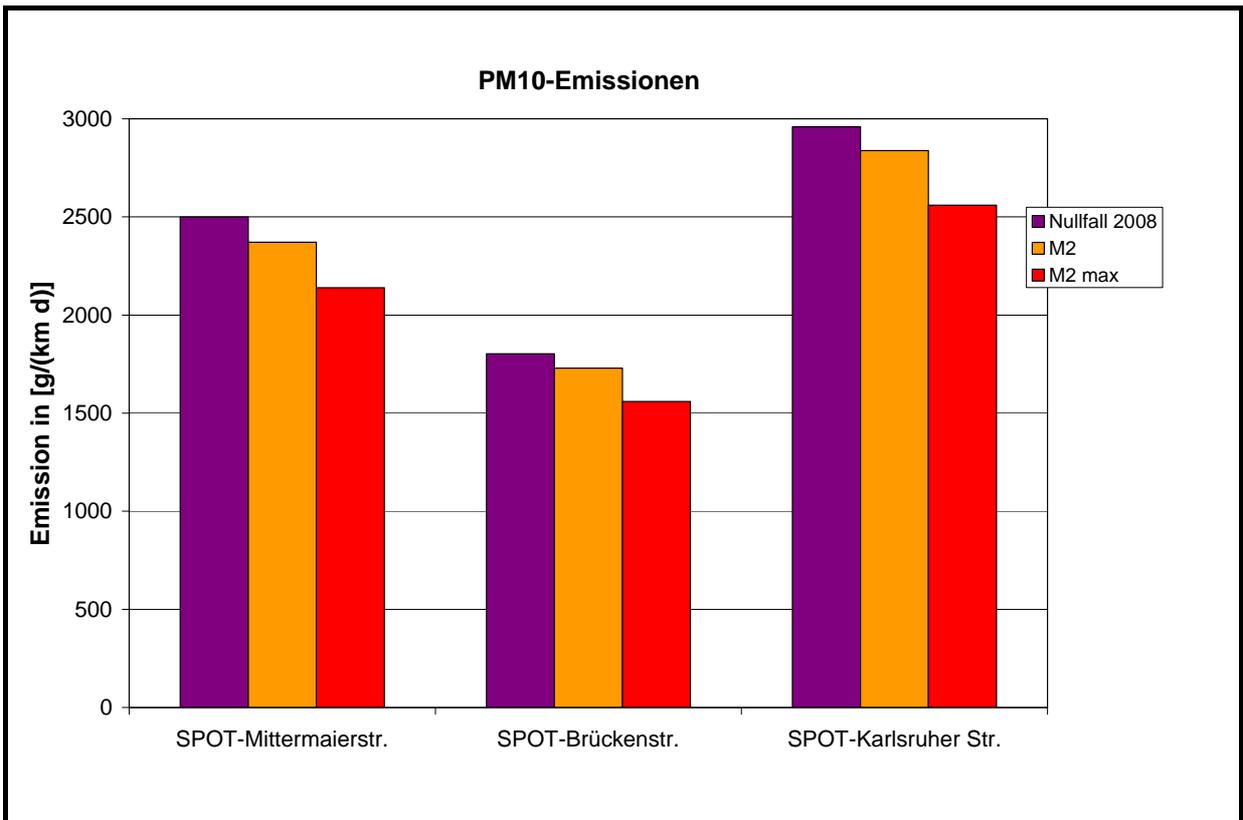


Abb. 4.2: PM10-Emissionen an der Mittermaier-, Brücken- und der Karlsruher Straße in Heidelberg für die betrachteten Maßnahmen und den Nullfall 2008  
 oben: PM10-Emissionen  
 unten: Relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008

## 4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen

Neben der Messdatenerfassung an der städtischen Messstation Heidelberg des Landesmessnetzes Baden-Württemberg wurden im Jahr 2004 an den drei verkehrsbezogenen Standorten Mittermaierstraße, Brückenstraße und Karlsruher Straße Messdaten erfasst. Zudem wurden in der Umgebung der Straßenmessstandorte in größerem Abstand zur Straße Messungen durchgeführt, um die Hintergrundbelastung zu erfassen. In den Jahren 2005 und 2006 wurden nicht mehr alle Straßenmessstationen betrieben. **Tab. 4.1** zeigt eine Zusammenstellung der Messdaten in Heidelberg in den Jahren 2004 bis 2006.

Für die Ermittlung der Immissionen 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 des Stadtbereichs bzw. umliegender Stationen abgeleitet und dann auf den verkehrsbeeinflussten Stationsstandort angewendet, um einen Vergleich zwischen den Mittelwerten der Messdaten und den Berechnungsergebnissen zu erhalten.

	Jahr	NO <sub>2</sub> -I1 [µg/m <sup>3</sup> ]	NO <sub>2</sub> -I2 [µg/m <sup>3</sup> ]	PM10-I1 [µg/m <sup>3</sup> ]	PM10-Überschreitung [Anzahl]
Heidelberg	2004	30	72	22	11
HD-Mittermaierstr.	2004	76	-	-	-
HD-Brückenstr.	2004	57	-	-	-
HD-Karlsruher Str.	2004	57	-	-	-
HD-Mittermaierstr. Hint.	2004	44	-	-	-
HD-Brückenstr. Hint.	2004	33	-	-	-
HD-Karlsruher Str. Hint.	2004	30	-	-	-
Heidelberg	2005	32	78	24	11
HD-Mittermaierstr.	2005	77	-	-	-
HD-Mittermaierstr. Hint.	2005	46	-	-	-
Heidelberg	2006	30	76	26	21
HD-Karlsruher Str.	2006	50	109	28	30

Tab. 4.1: Messdaten 2004 bis 2006 an den Messstationen in Heidelberg. I1 = Jahresmittelwert, I2 = 98-Perzentilwert, PM10-Überschreitung = Anzahl der Tage über 50 µg/m<sup>3</sup>, Hint. = Hintergrund

Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen für die Stationen in Heidelberg wurden in den Ausarbeitungen für den Luftreinhalteplan Heidelberg beschrieben und weisen an den Messstationen gute Übereinstimmungen mit den Messdaten auf.

Mit der selben Vorgehensweise werden basierend auf den prognostizierten Verkehrsbelegungsdaten für das zu betrachtende Jahr 2008 Immissionsberechnungen für die Maßnahmen **M2** und den Nullfall 2008 durchgeführt. Die Ergebnisse werden zusammenfassend für die Straßenmessstationen sowie die Station Heidelberg als Konzentrationen und als relative Änderungen dargestellt, um die Auswirkungen der Maßnahme auf die Gesamtbelastungen zu beschreiben.

In **Abb. 4.3** (oben) und **Abb. 4.4** (oben) sind die berechneten Jahresmittelwerte für NO<sub>2</sub> und PM10 sowie in **Abb. 4.3** (unten) und **Abb. 4.4** (unten) die relativen Änderungen der berechneten Belastungen für das Jahr 2008 und die betrachteten Umsetzungen der Maßnahme **M2** bezogen auf den Nullfall aufgezeigt. Im Anhang A2 sind die berechneten Immissionen für die betrachteten Straßen in Heidelberg grafisch dargestellt.

In **Abb. 4.3** sind die berechneten NO<sub>2</sub>-Belastungen aufgezeigt. Gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2008, weisen die NO<sub>2</sub>-Belastungen an den Straßenmesspunkten mit der Maßnahme **M2** ca. 98 %, mit der Maßnahme **M2** max zwischen 93 % und 94 % der Gesamtbelastungen auf. An den Straßenmessstationen sind gegenüber dem Nullfall leichte Verringerungen der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte zu erwarten, die allerdings nicht dazu führen, dass der für das Jahr 2008 geltende Übergangsbeurteilungswert von 44 µg/m<sup>3</sup> und der ab 2010 gültige Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> eingehalten werden.

Die berechneten PM10-Immissionen sind in **Abb. 4.4** dargestellt. Gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2008, weisen die PM10-Belastungen an den Straßenmesspunkten mit der Maßnahme **M2** zwischen 97 % und 99 %, mit der Maßnahme **M2** max zwischen 94 % und 96 % der Gesamtbelastungen auf. An den Straßenmessstationen sind gegenüber dem Nullfall leichte Verringerungen der PM10-Jahresmittelwerte zu erwarten.

Für die Auswertungen der PM10-Kurzzeitbelastungen, d.h. die Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m<sup>3</sup>, liegen in Heidelberg keine Messdaten vor, aus denen direkt der verkehrsbedingte Anteil ableitbar ist. Zur Ableitung des PM10-Kurzzeitbelastungs-

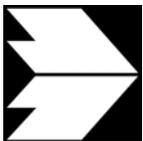
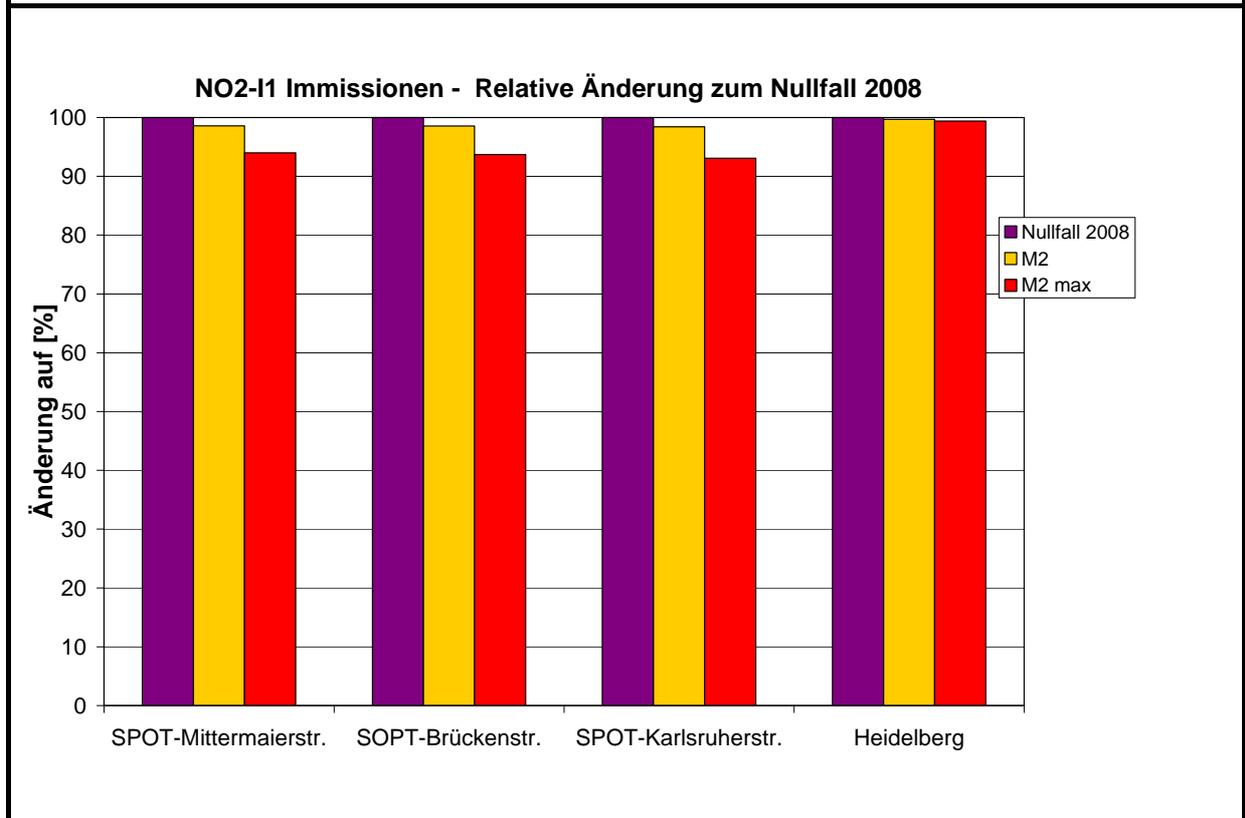
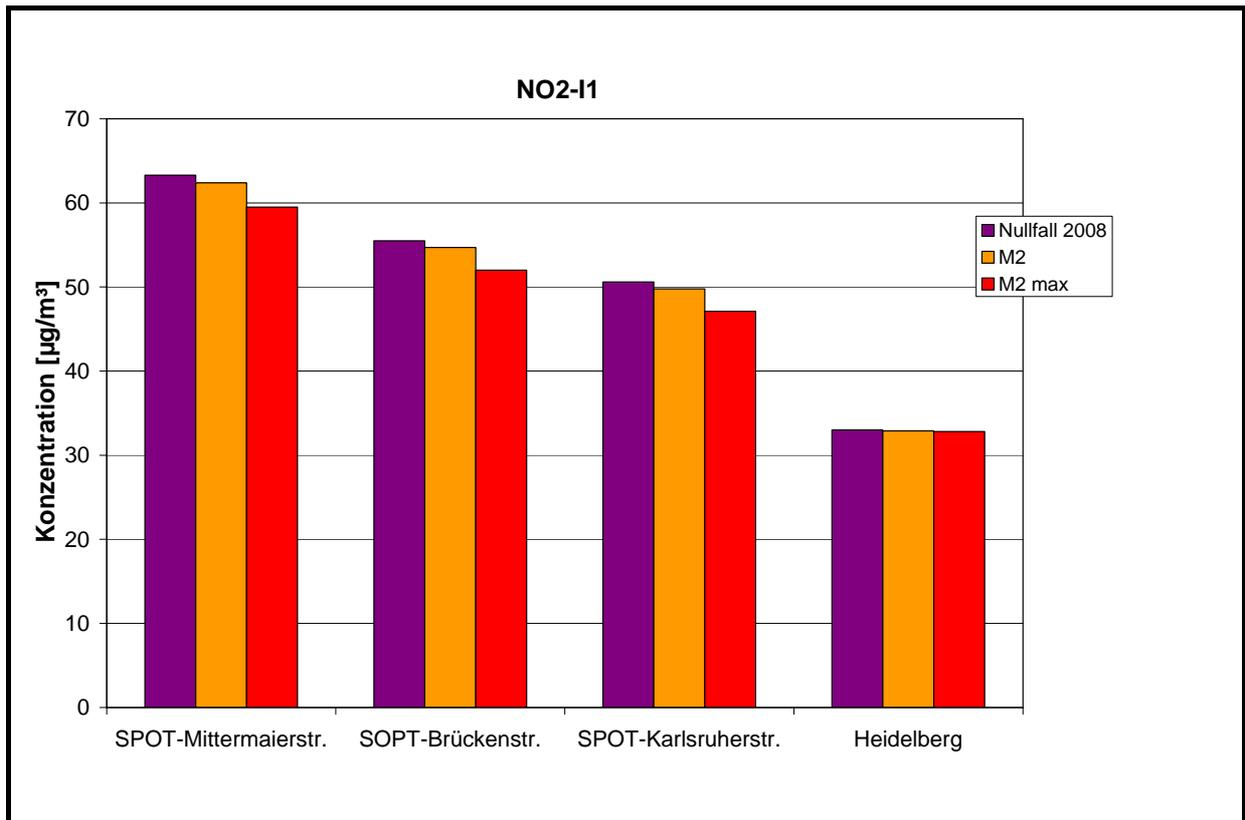


Abb. 4.3: NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) an der Mittermaier-, Brücken- und der Karlsruher Straße in Heidelberg für die betrachteten Maßnahmen und den Nullfall 2008  
 oben: NO<sub>2</sub>-Immissionen  
 unten: Relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008

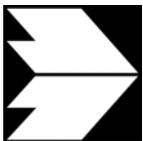
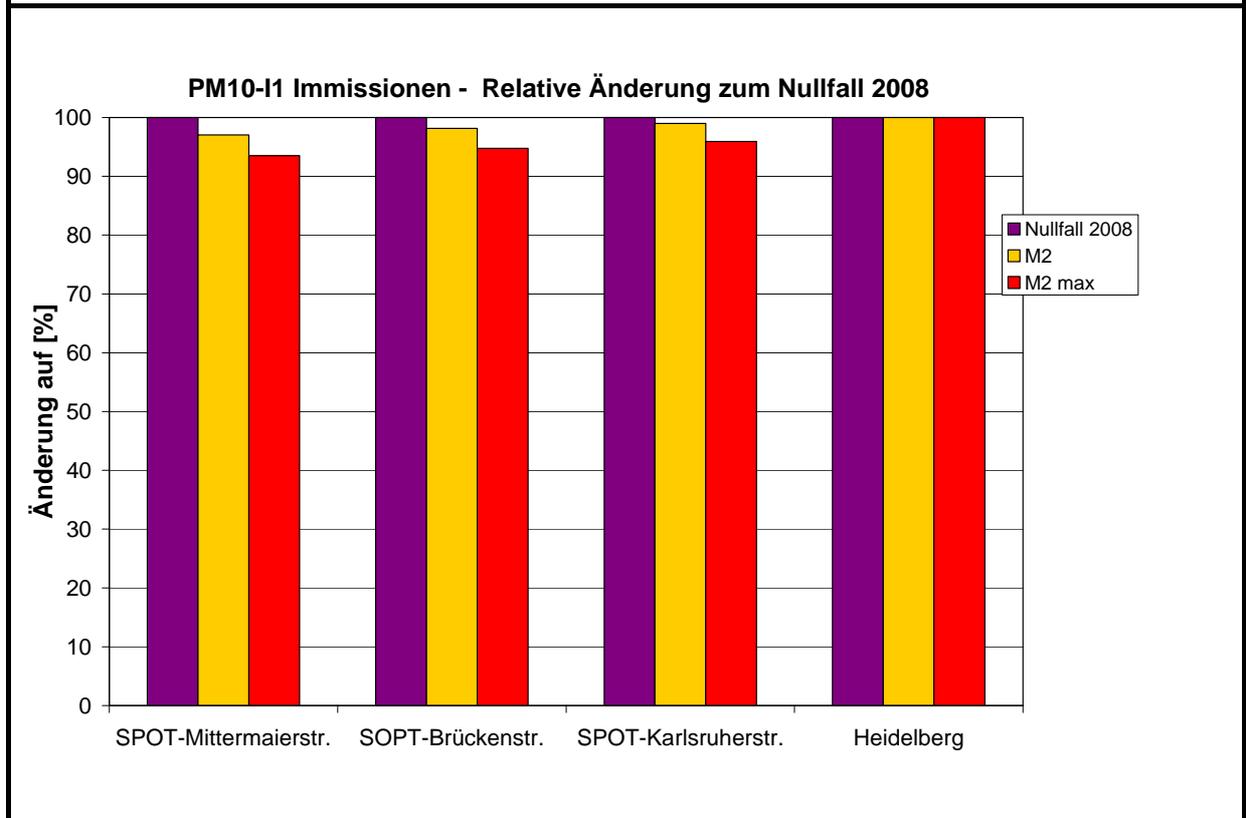
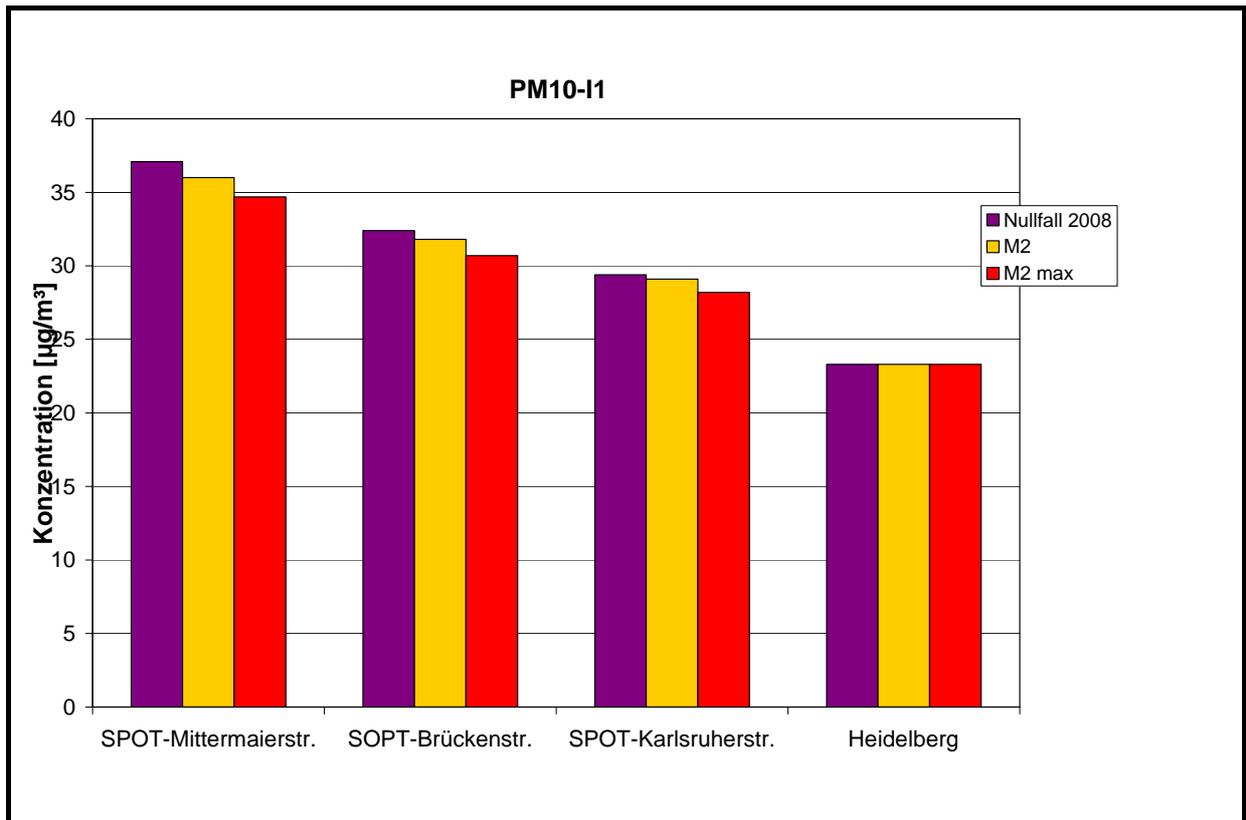
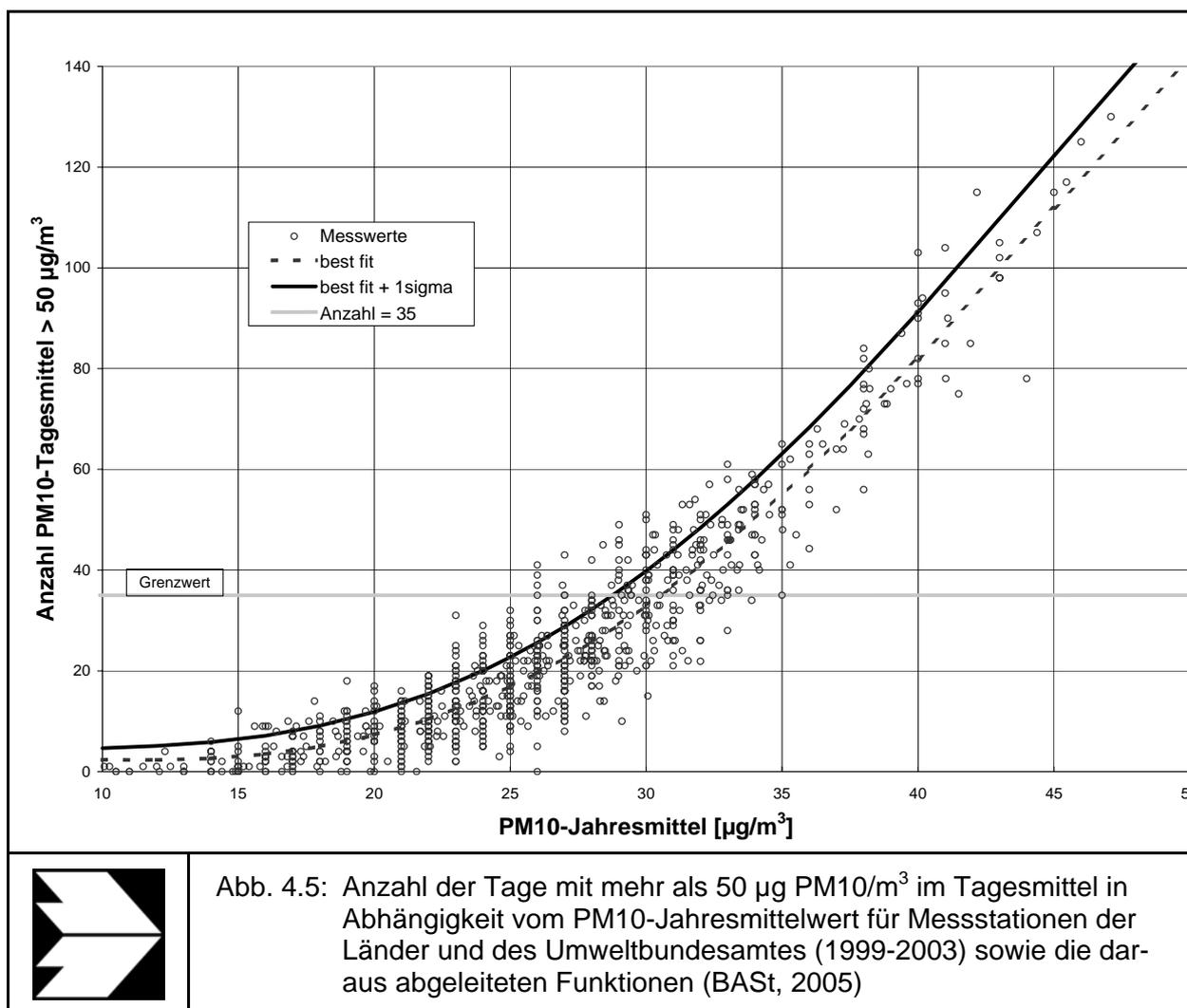


Abb. 4.4: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) an der Mittermaier-, Brücken- und der Karlsruher Straße in Heidelberg für die betrachteten Maßnahmen und den Nullfall 2008  
oben: PM10-Immissionen  
unten: Relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008

wertes, d.h. der Überschreitung eines PM10-Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an mehr als 35 Tagen pro Jahr, werden in der Fachliteratur Schwellenwerte der PM10-Jahresmittelwerte genannt. So wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts für die Bundesanstalt für Straßenwesen aus 914 Messdatensätzen aus den Jahren 1999 bis 2003 eine gute Korrelation zwischen der Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittelwerten größer als  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und dem PM10-Jahresmittelwert gefunden (**Abb. 4.5**). Daraus wurde eine funktionale Abhängigkeit der PM10-Überschreitungshäufigkeit vom PM10-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. 4.5** dargestellt. 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.

Aus den berechneten PM10-Jahresmittelwerten werden mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Grenzwert) ab PM10-Jahresmittelwerten von  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  angesetzt. Danach ist an der Messstation Heidelberg eine Einhaltung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes zu erwarten. An der Karlsruher Straße wird der Schwellenwert von  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zur Ableitung der PM10-Kurzzeitbelastung im Nullfall leicht überschritten; mit der Maßnahme **M2** max wird der Schwellenwert unterschritten. An den Standorten Mittermaierstraße und Brückenstraße ist trotz Maßnahme **M2** max eine Überschreitung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes prognostiziert.

Insgesamt ist aus den Ergebnissen der Berechnungen für die Maßnahme **M2** zu schließen, dass mit dem Ausschluss der älteren Fahrzeuge aus der Kfz-Fahrzeugflotte Verringerungen der motorbedingten Schadstofffreisetzungen verbunden sind, die auch zu leichten Verringerungen der  $\text{NO}_2$ - und PM10-Belastungen führen. Sofern mit dieser Maßnahme auch eine Verringerung der Verkehrsbelegung bewirkt werden kann, sind deutlichere Reduktionen der verkehrsbedingten Emissionen und damit einhergehend der Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen zu erwarten.

## 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.
35. BImSchV (2006): Funfunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung). In: BGBl. I, vom 10.10.2006, S. 2218.
- Bächlin, W., Böisinger, R., Brandt, A., Schulz, T. (2006): Überprüfung des NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 66 (2006) Nr. 4 – April.
- 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.
- Brück, R., Diring, J. (2005): Der PM-Filterkatalysator: Ein Diesel-Oxidationskatalysator mit Partikelminderung der nächsten Generation.
- 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.
- Flassak, Th., Bächlin, W., Böisinger, R., Blazek, R., Schädler, G., Lohmeyer, A. (1996): Einfluss der Eingangsparameter 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 (2003): Luftschadstoffbelastungen an Stuttgarter Hauptverkehrsstraßen für die Jahre 2005 und 2010. Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer, Karlsruhe, Projekt 5261, September 2003. Gutachten im Auftrag der Landeshauptstadt Stuttgart.
- 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 (2005/2006): Berechnung der immissionsseitigen Auswirkungen von verkehrlichen Maßnahmen des Luftreinhalteplans Heidelberg, Projekt 60528, Dezember 2005/Januar 2006, Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Karlsruhe.
- Regierungspräsidium Karlsruhe (2006): Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Karlsruhe. Teilplan Heidelberg auf der Grundlage der Luftqualitätsbeurteilung 2002/2003/2004.
- Regierungspräsidium Karlsruhe (2006): Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Karlsruhe. Teilplan Heidelberg – Aktionsplan – Entwurf auf der Grundlage der Ergebnisse des Spotmessprogramms 2006.
- 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., Bössinger, 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).
- Stadt Heidelberg (1995): Stadtklima Heidelberg

- Tartovsky, L., Hausberger, S, Gutman, M, Veinblat, M, Zvirin, Y (2005): Retrofit Aftertreatment Systems for Diesel Engines. Proceedings 14. International Conference Transport and Air Pollution Graz 2005.
- Twin-Tec (2005): Fragen und Antworten zum wartungsfreien Twin-Tec-Rußfilterkat zur Nachrüstung von PKW, leichten und schweren Nutzfahrzeugen.
- 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.

**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 gebracht, 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). Diese Vorgehensweise wurde durch Auswertungen von Messdaten der letzten Jahre bestätigt (Bächlin et al., 2006).

### **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 prognostizierten

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

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 Straßenabschnitten in Heidelberg mit den bestehenden verkehrsnahen Messstellen aufgeführt. Für den Nullfall 2008 und die Maßnahme **M2 max** (mit berücksichtigten wegfallenden Fahrten) sind in **Abb. A2.1** bis **A2.4** die berechneten NO<sub>2</sub>- und PM10-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 und Konzentrationswerte über 44 µg/m<sup>3</sup>, d.h. über dem für 2008 anzusetzenden Übergangsbeurteilungswert der 22. BImSchV in 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 und Übergangsbeurteilungswertes führen.

Für PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) sind Konzentrationswerte über 40 µg/m<sup>3</sup>, d.h. über dem seit 2005 gültigen PM10-Grenzwert der 22. BImSchV in gelben und roten Farben und Konzentrationswerte über 29 µg/m<sup>3</sup>, d.h. über dem Schwellenwert zur Ableitung des PM10-Kurzzeitgrenzwertes in grünen Farben dargestellt. Der Grenzwert für PM10-Jahresmittelwerte wird entsprechend den Berechnungen im Stadtgebiet von Heidelberg nicht überschritten. Der PM10-Kurzzeitgrenzwert wird an wenigen städtischen Straßen überschritten. Mit der Maßnahme **M2 max** sind weniger Abschnitte mit Überschreitungen des Kurzzeitgrenzwertes zu erwarten.

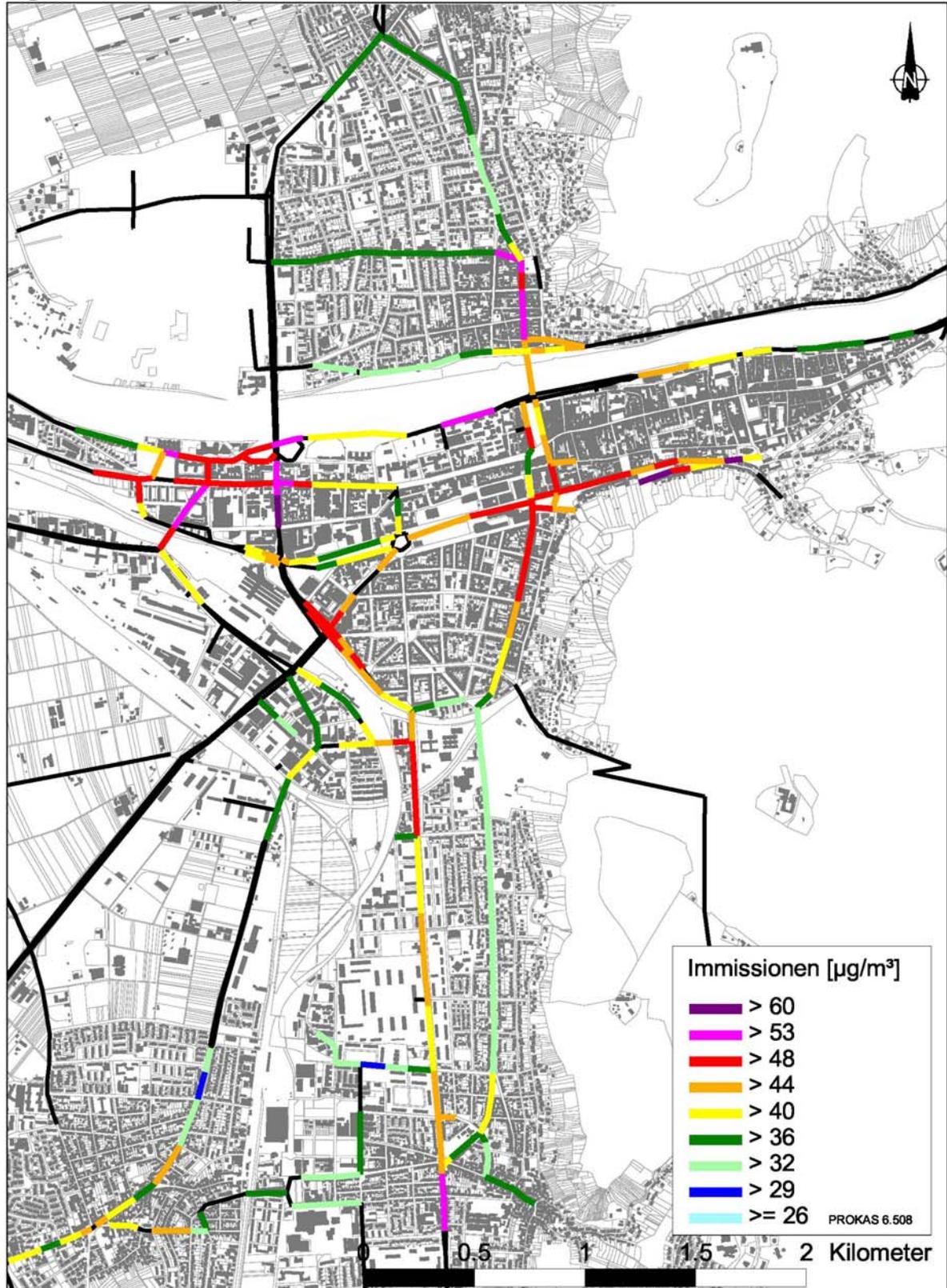


Abb. A2.1:  $\text{NO}_2$  -Gesambelastung (Jahresmittelwerte) im Untersuchungsgebiet für den Nullfall 2008

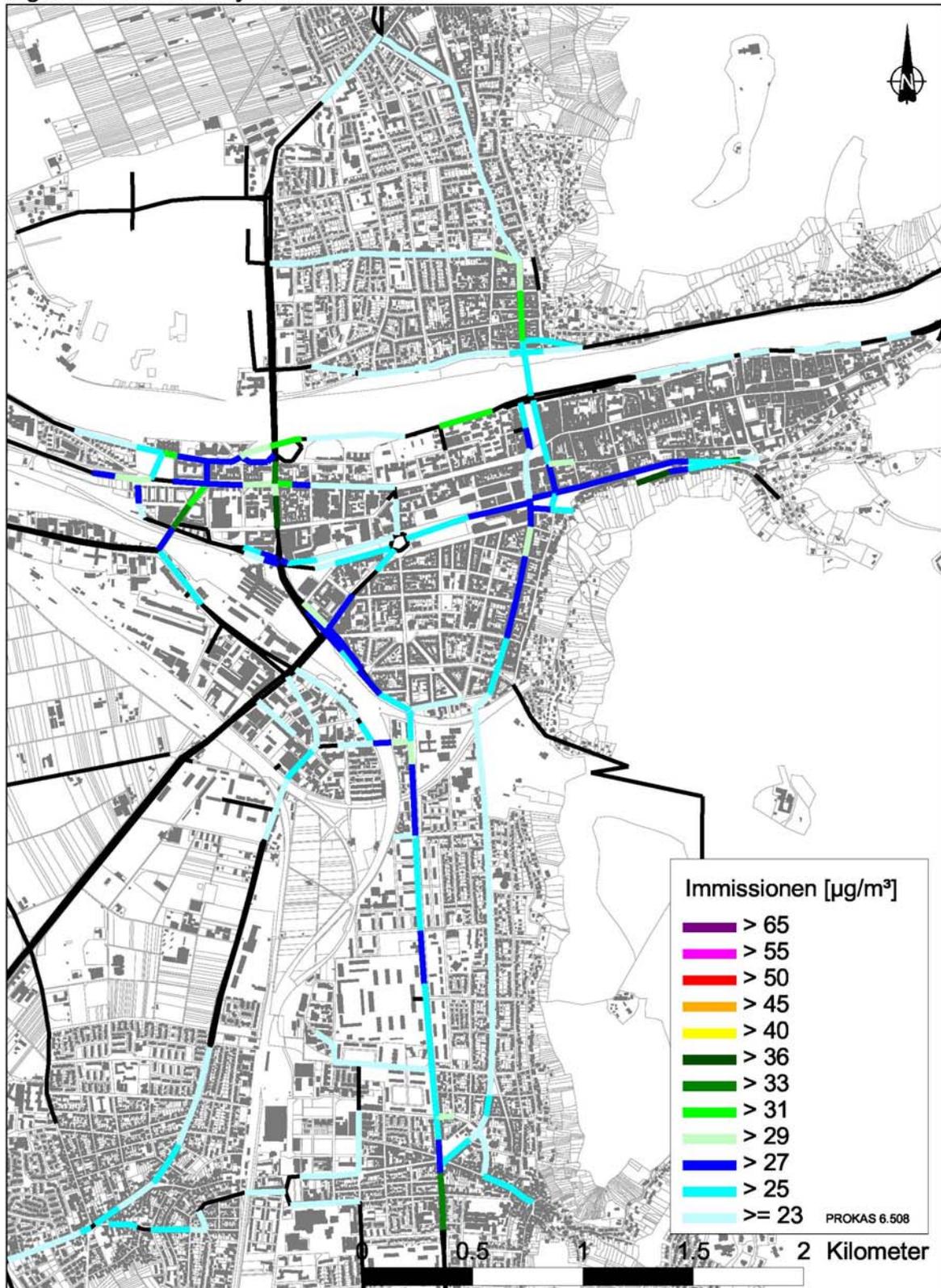


Abb. A2.3: PM10-Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) im Untersuchungsgebiet für den Nullfall 2008

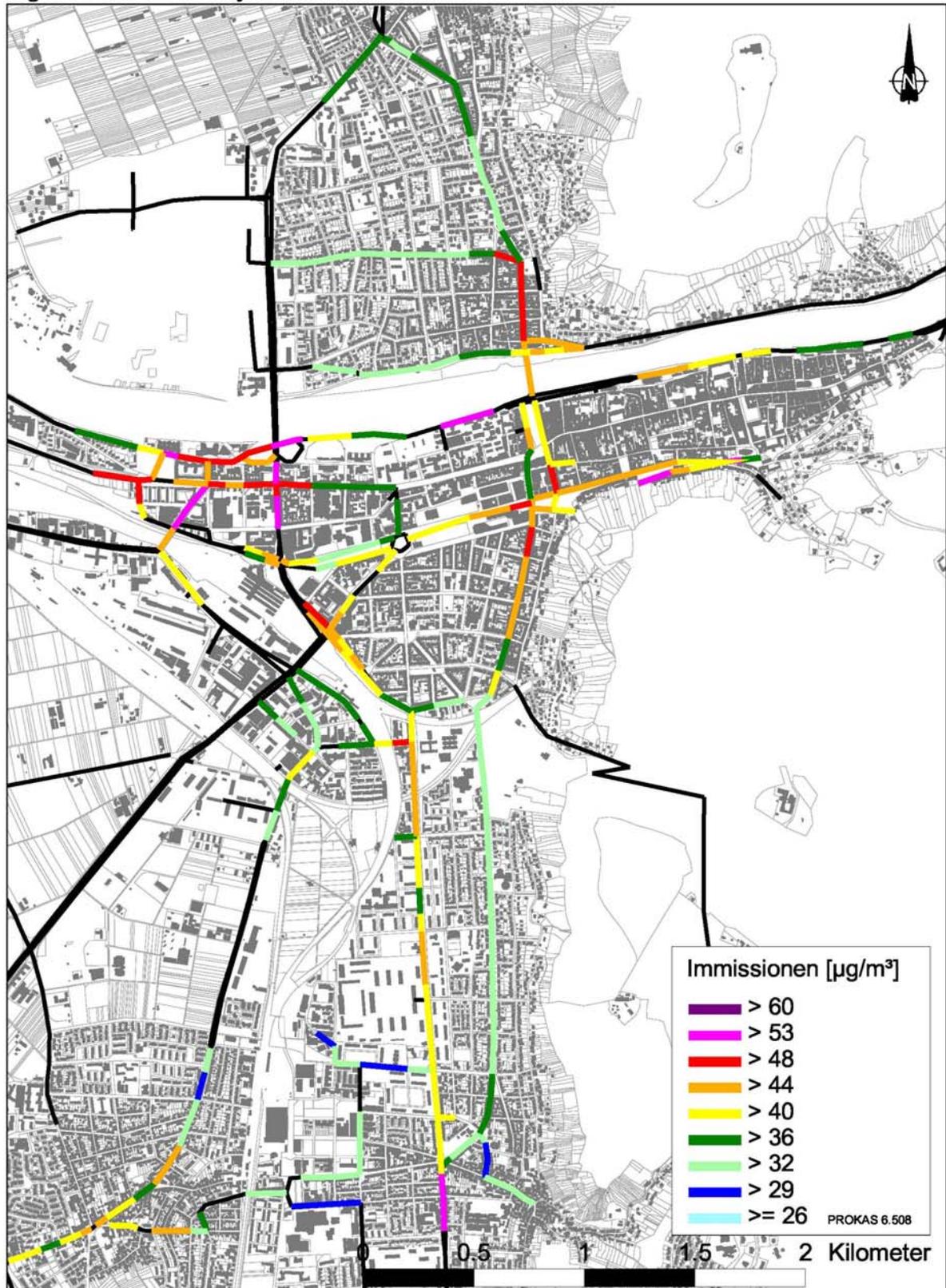


Abb. A2.2:  $\text{NO}_2$ -Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) im Untersuchungsgebiet für die Maßnahme M2 max

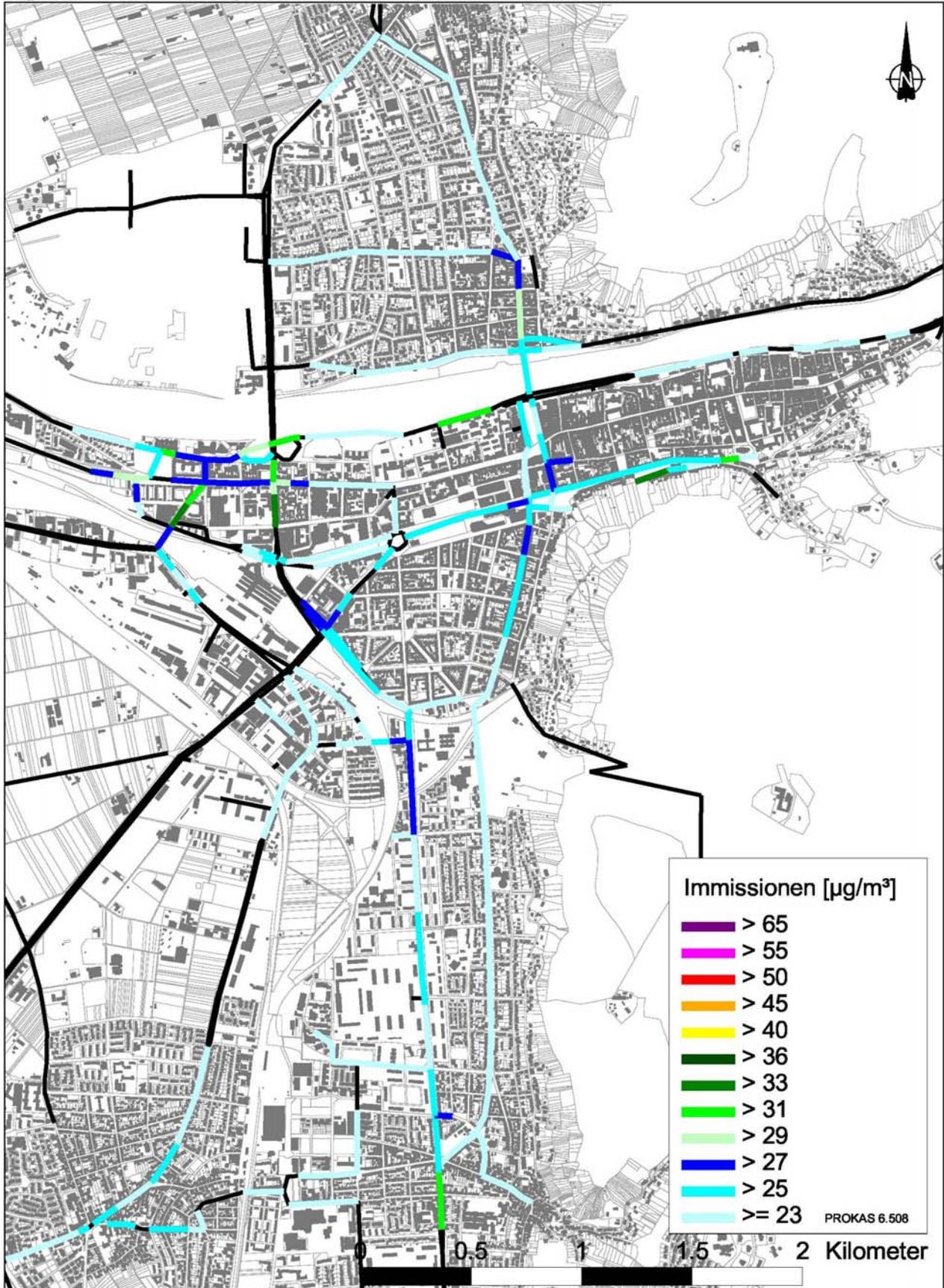


Abb. A2.4: PM10-Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte) im Untersuchungsgebiet für die Maßnahme M2 max