



**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

URL: www.lohmeyer.de

Messstelle nach §§ 26, 28 BImSchG

**BERECHNUNG DER IMMISSIONS-
SEITIGEN AUSWIRKUNGEN VON
VERKEHRLICHEN MASSNAHMEN DES
LUFTREINHALTEPLANS FÜR DIE
GEMEINDEN PLEIDELSHEIM, INGERS-
HEIM UND FREIBERG A.N.**

Auftraggeber: Regierungspräsidium Stuttgart
Referat 54.1
Ruppmannstr. 21
70565 Stuttgart

Dipl.- Met. K. Lehner
Dipl.-Geogr. T. Nagel

Dr.-Ing. W. Bächlin

Mai 2011 – Endbericht Juni 2011
Projekt 61801-10-01
Berichtsumfang 57 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN	1
1 ZUSAMMENFASSUNG	4
2 AUFGABENSTELLUNG	7
3 EINGANGSDATEN UND EMISSIONSFAKTOREN.....	8
3.1 Lagedaten.....	8
3.2 Verkehr	10
3.3 Fahrzeugflotte.....	14
3.4 Emissionsfaktoren	17
3.4.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren	17
3.4.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren	18
3.4.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen	19
3.5 Meteorologische Daten.....	21
4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN	24
4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte.....	24
4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen.....	29
5 LITERATUR	37
A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION.....	41
A2 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSEN- NETZ	49

Hinweise:

Vorliegender Bericht darf ohne schriftliche Zustimmung des Ingenieurbüros Lohmeyer GmbH & Co. KG nicht auszugsweise vervielfältigt werden.

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

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

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

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

Emission / Immission

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

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 mg/m^3 angegeben.

Grenzwerte / Vorsorgewerte

Grenzwerte sind zum Schutz der menschlichen Gesundheit vom Gesetzgeber vorgeschriebene Beurteilungswerte für Luftschadstoffkonzentrationen, die nicht überschritten werden dürfen, siehe z.B. Neununddreißigste 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 Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) fordert die Einhaltung weiterer Kurzzeitwerte in Form des Stundenmittelwertes der NO₂-Konzentrationen von 200 µg/m³, der nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf, und des Tagesmittelwertes der PM10-Konzentration von 50 µg/m³, der maximal an 35 Tagen überschritten werden darf. Da diese Werte derzeit nicht direkt berechnet werden können, erfolgt die Beurteilung hilfsweise anhand von abgeleiteten Äquivalentwerten auf Basis der 98-Perzentil- bzw. Jahresmittelwerte. Diese Äquivalentwerte sind aus Messungen abgeleitete Kennwerte, bei deren Unterschreitung auch eine Unterschreitung der Kurzzeitwerte erwartet wird.

Verkehrssituation

Emissionen und Kraftstoffverbrauch der Kraftfahrzeuge (Kfz) hängen in hohem Maße vom Fahrverhalten ab, das durch unterschiedliche Betriebszustände wie Leerlauf im Stand, Beschleunigung, Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsverzögerung etc. charakterisiert ist. Das typische Fahrverhalten 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 / PM2.5

Mit Feinstaub bzw. PM10 / PM2.5 werden alle Partikel bezeichnet, die einen gröÙenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Partikeldurchmesser von 10 µm bzw. 2.5 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50% aufweist. Die PM10-Fraktion wird auch als inhalierbarer Staub bezeichnet. Die PM2.5-Fraktion gelangt bei Inhalation vollständig bis in die Alveolen der Lunge; sie umfasst auch den wesentlichen Masseanteil des anthropogen erzeugten Aerosols, wie Partikel aus Verbrennungsvorgängen und Sekundärpartikel.

Emissionsgrenzwerte für Partikel und NO_x mit Geltungsjahr

		Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
PKW	Jahr	1993	1996/97	2000	2005	2009	2014
	Partikel [g/km]	0.14	0.08	0.05	0.025	0,005	0,005
	Jahr	1992	1996	2000	2005	2009	2014
	NO _x Diesel [g/km]	-	-	0.50	0.25	0,18	0,08
	NO _x Benzin [g/km]	-	-	0.15	0.08	0,06	0,06
LKW	Jahr	1992/93	1995/96	2000/01	2005	2008	2012
	Partikel [g/kWh]	0.4	0.15	0.10	0.02	0.02	0.01
	Jahr	1992	1998	2000	2005	2008	2012
	NO _x [g/kWh]	9.0	7.0	5.0	3.5	2.0	0.4

Zusammenfassung der Beurteilungsmaßstäbe für Luftschadstoffe

In untenstehender Tabelle werden die in der vorliegenden Studie verwendeten und im Anhang A1 erläuterten Beurteilungswerte für die relevanten Autoabgaskomponenten zusammenfassend dargestellt. Diese Beurteilungswerte sowie die entsprechende Nomenklatur werden im vorliegenden Gutachten durchgängig verwendet.

Schadstoff	Beurteilungswert	Zahlenwert in µg/m³	
		Jahresmittel	Kurzzeit
NO ₂	Grenzwert seit 2010	40	200 (Stundenmittelwert, maximal 18 Überschreitungen/Jahr)
PM10	Grenzwert seit 2005	40	50 (Tagesmittelwert, maximal 35 Überschreitungen/Jahr)
PM2.5	Grenzwert ab 2015	25	

Beurteilungsmaßstäbe für Luftschadstoffimmissionen nach 39. BImSchV (2010)

1 ZUSAMMENFASSUNG

Für die Stadt Freiberg a.N. und die Gemeinde Ingersheim werden derzeit Luftreinhaltepläne erstellt. Für die Gemeinde Pleidelsheim besteht bereits ein in der Endfassung vorliegender Luftreinhalte- und Aktionsplan, für den derzeit weiterführende Maßnahmen entwickelt werden. Für folgende Maßnahmen wurden Berechnungen der zu erwartenden Minderungen der Immissionen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführt:

M1: LKW-Durchfahrtsverbot in Pleidelsheim, Groß-Ingersheim und Freiberg ab dem 01.10.2011.

M2 (Stufe 1 und 2): Ganzjähriges Fahrverbot im Gebiet der gemeinsamen Umweltzone von Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung, d.h. Fahrzeuge mit grüner und gelber Plakette frei.

M2 (Stufe 3): Ganzjähriges Fahrverbot im Gebiet der gemeinsamen Umweltzone von Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. ab dem 01.01.2013 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1, 2 und 3 nach der Kennzeichnungsverordnung, d.h. Fahrzeuge mit grüner Plakettefrei.

Als Referenzzustand (Nullfall 2011, Trendfälle 2012 bzw. 2013) wird in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. die derzeitige Regelung mit Umweltzone Stufe 1 in Pleidelsheim, (d.h. Fahrzeuge mit grüner, gelber und roter Plakette frei) und ohne Umweltzone in Ingersheim und Freiberg a.N. für die Jahre 2011, 2012 und 2013 angesetzt.

Für die Hauptverkehrsstraßen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. werden die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen berechnet. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes von Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. und Umgebung werden unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, der Fahrzeugflotte für den Kreis Ludwigsburg und der neuesten Erkenntnisse bezüglich PM₁₀-Emissionen von Abrieb und Aufwirbelung die Änderungen der Emissionen und darauf basierend der Immissionen gegenüber dem Referenzfall aufgezeigt. Betrachtet werden die Schadstoffe NO₂ 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 denen in den letzten Jahren zeitlich befristete verkehrsnahе Messstationen betrieben wurden.

Ergebnisse für Pleidelsheim

In **Pleidelsheim** sind für die Emissionen an dem Straßenabschnitt des Messpunktes gegenüber dem Nullfall 2011 mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 noch ca. 66%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 noch ca. 64% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 57% der NO_x-Emissionen zu erwarten. Durch die Maßnahme **M1** im Jahr 2011 sind ca. 77%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 noch ca. 73% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 63% der PM10-Emissionen zu erwarten.

Entsprechend den an der Messstelle in Pleidelsheim verringerten Emissionen sind auch verringerte Immissionen zu erwarten. Gegenüber dem Nullfall 2011 sind mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 88%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** ca. 87% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 84% der NO₂-Immissionen zu erwarten. Die berechneten NO₂-Immissionen an der Messstelle liegen trotz deutlicher Verringerung durch die Maßnahmen bei allen betrachteten Fällen deutlich über dem Grenzwert von 40 µg/m³. Für die PM10-Immissionen sind gegenüber dem Nullfall mit der Maßnahme **M1** noch ca. 92%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 ca. 91% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 87% der PM10-Immissionen zu erwarten. Der Grenzwert für den PM10-Jahresmittelwert wird in allen Fällen nicht erreicht und nicht überschritten. Der Schwellenwert zur Ableitung des Kurzzeitgrenzwertes wird im Nullfall und in den Trendfällen überschritten. In den Maßnahmenfällen ist eine Einhaltung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes zu erwarten.

Ergebnisse für Ingersheim

In **Ingersheim** sind für die Emissionen an dem Straßenabschnitt des Messpunktes gegenüber dem Nullfall 2011 mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 noch ca. 79%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 noch ca. 74% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 63% der NO_x-Emissionen zu erwarten. Durch die Maßnahme **M1** im Jahr 2011 sind ca. 85%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 noch ca. 79% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 67% der PM10-Emissionen zu erwarten.

Für die Immissionen sind gegenüber dem Nullfall 2011 mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 93%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** ca. 91% und mit den Maßnah-

men **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 86% der NO₂-Immissionen zu erwarten. Die berechneten NO₂-Immissionen an der Messstelle liegen trotz deutlicher Verringerung durch die Maßnahmen bei allen betrachteten Fällen deutlich über dem Grenzwert von 40 µg/m³. Für die PM10-Immissionen sind gegenüber dem Nullfall mit der Maßnahme **M1** noch ca. 95%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 ca. 93% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 89% der PM10-Immissionen zu erwarten. Der Grenzwert für den PM10-Jahresmittelwert wird in allen Fällen nicht erreicht und nicht überschritten. Der Schwellenwert zur Ableitung des Kurzzeitgrenzwertes wird im Nullfall und im Trendfall 2012 überschritten. In allen weiteren betrachteten Fällen ist eine Einhaltung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes zu erwarten.

Ergebnisse für Freiberg a.N.

In **Freiberg a.N.** sind für die Emissionen an dem Straßenabschnitt des Messpunktes gegenüber dem Nullfall 2011 mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 noch ca. 80%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 noch ca. 76% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 68% der NO_x-Emissionen zu erwarten. Durch die Maßnahme **M1** im Jahr 2011 sind ca. 87%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 noch ca. 80% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 70% der PM10-Emissionen zu erwarten.

Gegenüber dem Nullfall 2011 sind mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 93%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** ca. 92% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 89% der NO₂-Immissionen zu erwarten. Die berechneten NO₂-Immissionen an der Messstelle liegen trotz Verringerung durch die Maßnahmen bei allen betrachteten Fällen deutlich über dem Grenzwert von 40 µg/m³. Für die PM10-Immissionen sind gegenüber dem Nullfall mit der Maßnahme **M1** noch ca. 96%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 ca. 95% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 91% der PM10-Immissionen zu erwarten. Der Grenzwert für den PM10-Jahresmittelwert wird in allen Fällen nicht erreicht und nicht überschritten. Der Schwellenwert zur Ableitung des Kurzzeitgrenzwertes wird in allen betrachteten Fällen nicht überschritten.

Die Maßnahmen mit den Fahrverboten für LKW und entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einem geringeren Schwerverkehrsanteil und zu einer beschleunigten Flottenumstellung, die sich mindernd auf die verkehrsbedingten Emissionen- und Immissionen auswirken. Durch die Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 sind an allen detaillierter betrachteten Straßenabschnitten die intensivsten Reduktionen der Emissionen und Immissionen zu erwarten.

2 AUFGABENSTELLUNG

Für die Stadt Freiberg a.N. und die Gemeinde Ingersheim werden derzeit Luftreinhaltepläne erstellt. Für die Gemeinde Pleidelsheim besteht bereits ein in der Endfassung vorliegender Luftreinhalte- und Aktionsplan, für den derzeit weiterführende Maßnahmen entwickelt werden. Diese Maßnahmen beziehen sich auf den Kfz-Verkehr und sollen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Emissionen und Immissionen betrachtet werden. Betrachtet werden die Schadstoffe NO₂ und PM10. Folgende Maßnahmen werden betrachtet:

M1: LKW-Durchfahrtsverbot in Pleidelsheim, Groß-Ingersheim und Freiberg ab dem 01.10.2011.

M2 (Stufe 1 und 2): Ganzjähriges Fahrverbot im Gebiet der gemeinsamen Umweltzone von Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung, d.h. Fahrzeuge mit grüner und gelber Plakette frei.

M2 (Stufe 3): Ganzjähriges Fahrverbot im Gebiet der gemeinsamen Umweltzone von Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. ab dem 01.01.2013 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1, 2 und 3 nach der Kennzeichnungsverordnung, d.h. Fahrzeuge mit grüner Plakette frei.

Als Referenzzustand (Nullfall 2011, Trendfälle 2012 bzw. 2013) wird in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. die derzeitige Regelung mit Umweltzone Stufe 1 in Pleidelsheim, (d.h. Fahrzeuge mit grüner, gelber und roter Plakette frei) und ohne Umweltzone in Ingersheim und Freiberg a.N. für die Jahre 2011, 2012 und 2013 angesetzt.

Für die Hauptverkehrsstraßen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. sind die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen zu berechnen. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes der drei Kommunen und Umgebung sind unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1 und mit den aktuellen Erkenntnissen bezüglich Anteilen von Abrieb und Aufwirbelung an PM10 die Änderungen der Emissionen und darauf basierend der Immissionen gegenüber dem Referenzfall aufzuzeigen.

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

Die Gemeinden Pleidelsheim und Ingersheim sowie die Stadt Freiberg a. N. liegen im nördlichen Bereich des Ballungsgebietes Stuttgart im Neckartal und reichen teilweise bis in die angrenzenden höheren Gebiete. Durch die Stadt Freiberg verläuft die A 81 von Nordosten nach Südwesten und führt östlich des Ortsbereichs von Pleidelsheim mit der Anschlussstelle Pleidelsheim vorbei. Von der Anschlussstelle Pleidelsheim führt von Osten die Landesstraße L 1125 in den Ortskern von Pleidelsheim, schwenkt kurz nach Süden, um dann in westlicher Richtung den Ort Richtung Neckarüberquerung und Ingersheim zu verlassen. Innerhalb des Ortskerns von Pleidelsheim trifft von Süden aus Freiberg kommend die Landesstraße L 1129 und von Norden aus Mundelsheim kommend die Kreisstraße K 1700 auf die L 1125.

Im Ortskern von Ingersheim führt die L 1125 von Pleidelsheim kommend ebenfalls kurz nach Süden und dann nach Westen in Richtung Bietigheim. Die L 1113 verläuft am westlichen Ortsrand von Ingersheim in nordsüdlicher Richtung und quert die L 1125 am südwestlichen Ortsbereich von Ingersheim.

Freiberg a. N. wird ebenfalls von der L 1113 am westlichen Ortsrand in nordsüdlicher Richtung tangiert. Durch den östlichen Ortsbereich von Freiberg verläuft die L 1129 von Pleidelsheim kommend in nordsüdlicher Richtung nach Hoheneck. Die L 1138 verläuft vom südwestlichen Ortsrand von Freiberg in nordöstlicher Richtung zunächst parallel zu der A 81, schwenkt dann ein kurzes Stück nach Osten in den Ortsbereich und dann wieder nach Nordosten in Richtung Benningen a.N.

Die Lage des Betrachtungsgebietes mit den Ortsbereichen von Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. ist in **Abb. 3.1** aufgezeigt. In den Plan ist auch die Lage der geplanten Umweltzone sowie der Bereich des LKW-Durchfahrverbotes, der das Gebiet der Umweltzone und zusätzlich den Bereich westlich der L 1113 in Ingersheim umfasst, eingetragen. Die SPOT-Messstellen sind mit grünen Punkten markiert.

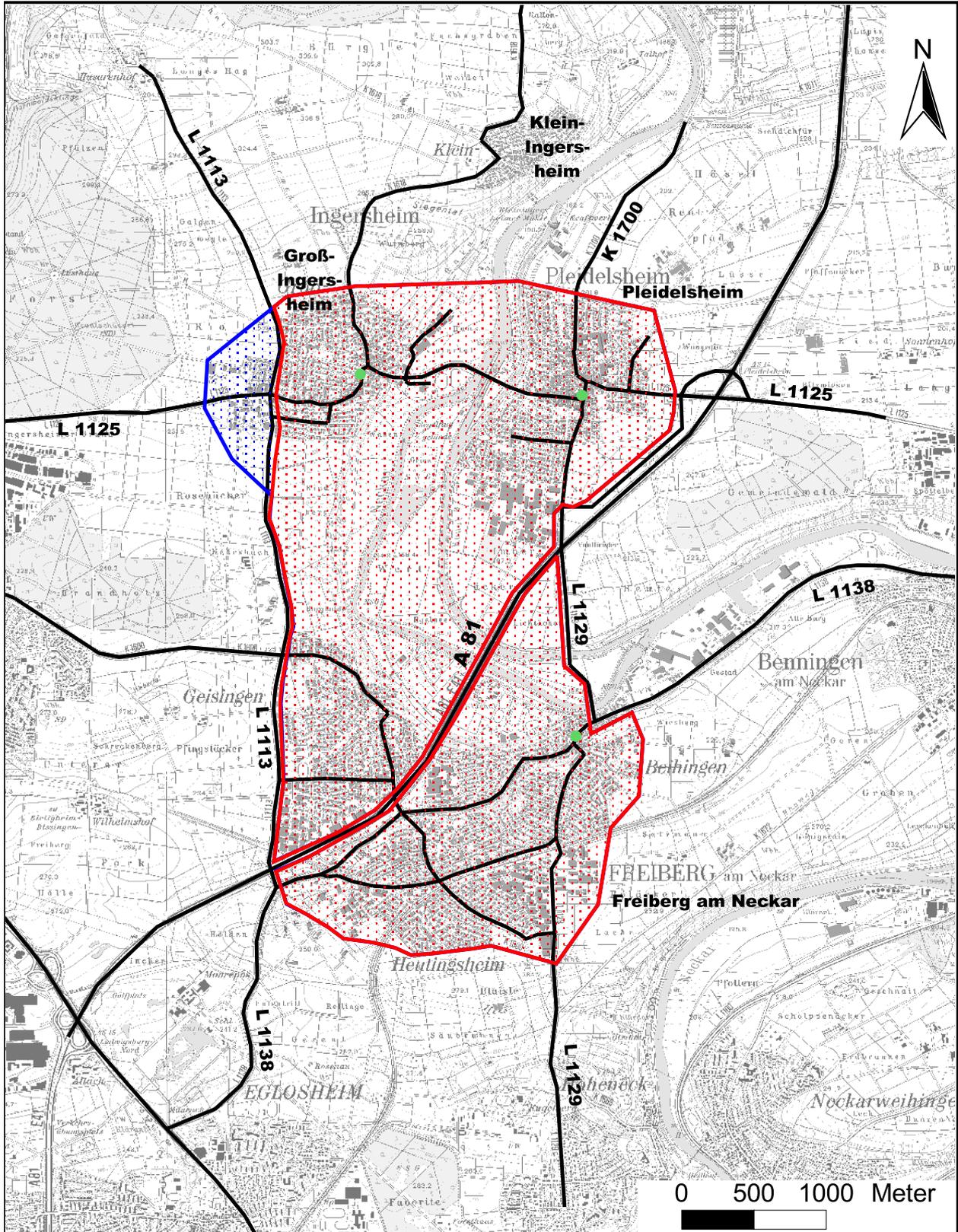


Abb. 3.1: Lageplan des Untersuchungsgebietes mit Standorten der Messstationen (grün). Die Umweltzone ist rot, die LKW-Durchfahrtsverbotszone ist rot / blau eingetragen

3.2 Verkehr

Für die Betrachtungen der verkehrsbedingten Maßnahmen zum Luftreinhalteplan Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg wurden Verkehrsbelegungsdaten durch den Auftraggeber zu Verfügung gestellt. Dies sind aktuelle Verkehrsumlegungsdaten der Universität Stuttgart (Datenlieferung 2011) die insbesondere hinsichtlich des LKW-Durchfahrverbotes in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. ermittelt wurden. Das sind für das Plangebiet mit direkter Umgebung Angaben der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV) und des LKW-Anteils. Ebenfalls wurden durch den Auftraggeber Verkehrsbelegungsdaten von BS-Ingenieure (Datenlieferung 2009) mit Angaben der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke und des LKW-Anteils zu Verfügung gestellt.

Der Vergleich der Verkehrsbelegungsdaten der Universität Stuttgart (2011) mit den Daten von BS-Ingenieure (2009) für den Nullfall zeigt außerorts von Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. eine gute Übereinstimmung des DTV und des LKW-Anteils. Die räumliche Auflösung innerorts ist bei den Daten von BS-Ingenieure deutlich höher. Daher werden diesen Daten für die innerörtlichen Bereiche hier angesetzt. Aus dem Vergleich der Datensätze für den Nullfall und mit der Wirkung des LKW-Durchfahrverbotes der Universität Stuttgart werden die Änderungen auch auf die innerörtlichen Streckenabschnitte übertragen.

Weiterhin liegen aus kurzzeitigen Zählungen Hochrechnungen des DTV und des LKW-Anteils für einzelne innerörtliche Streckenabschnitte von AVISO (2011) vor. Diese bestätigen zum Teil die innerörtlichen Verkehrsdaten von BS-Ingenieure.

Die Verkehrsbelegungsdaten sind in den **Abb. 3.2** und **Abb. 3.3** aufgezeigt.

Für die zu betrachtenden Maßnahmen **M2 (Stufe 1 und 2)**, Umweltzone Stufe 1 und 2 ab dem 1.1.2012 und **M2 (Stufe 3)**, Umweltzone Stufe 3 ab dem 1.1.2013 wird in dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass die Anzahl der Fahrten nicht verändert wird, sondern nur die Fahrzeugflotte der Fahrten innerhalb der Umweltzone variiert.

In Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. wurden in den letzten Jahren an ausgewählten Hauptverkehrsstraßen Immissionsmessungen durchgeführt. Für die Standorte der SPOT-Messstationen und die entsprechenden Straßenabschnitte sind die Verkehrsbelegungsdaten ausgedrückt als Anzahl der Fahrzeuge pro Tag in **Abb. 3.4** aufgezeigt. Die Angabe der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) beinhaltet alle Kfz; ergänzend ist die durchschnittliche tägliche Anzahl der LKW-Fahrten aufgeführt.

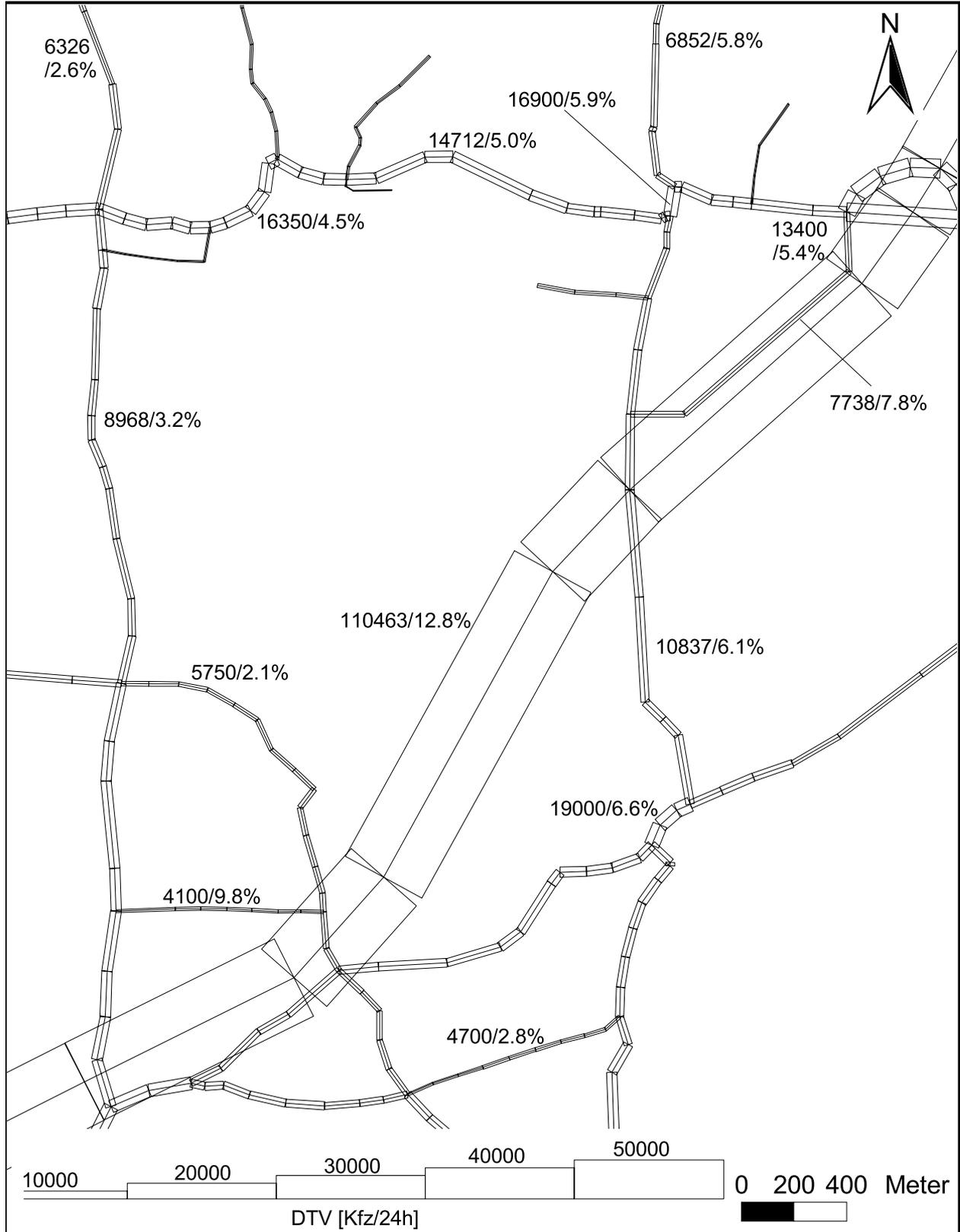


Abb. 3.2: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in [Kfz/24h] und LKW-Anteil in [%] auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für den Nullfal, Trend 2012 und 2013

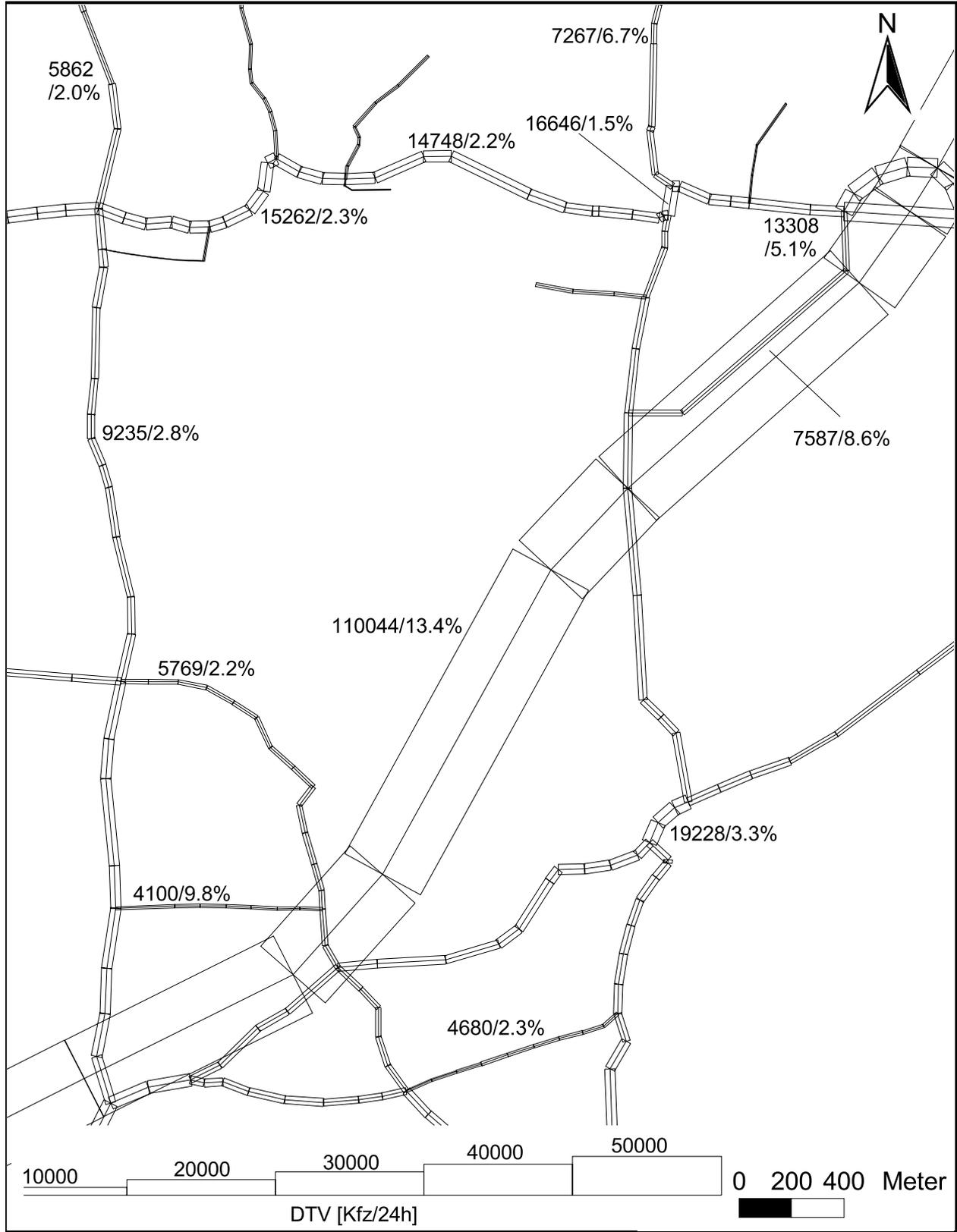


Abb. 3.3: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in [Kfz/24h] und LKW-Anteil in [%] auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für M1, M1+M2 (St1 und St2) und M1+M2 (St3)

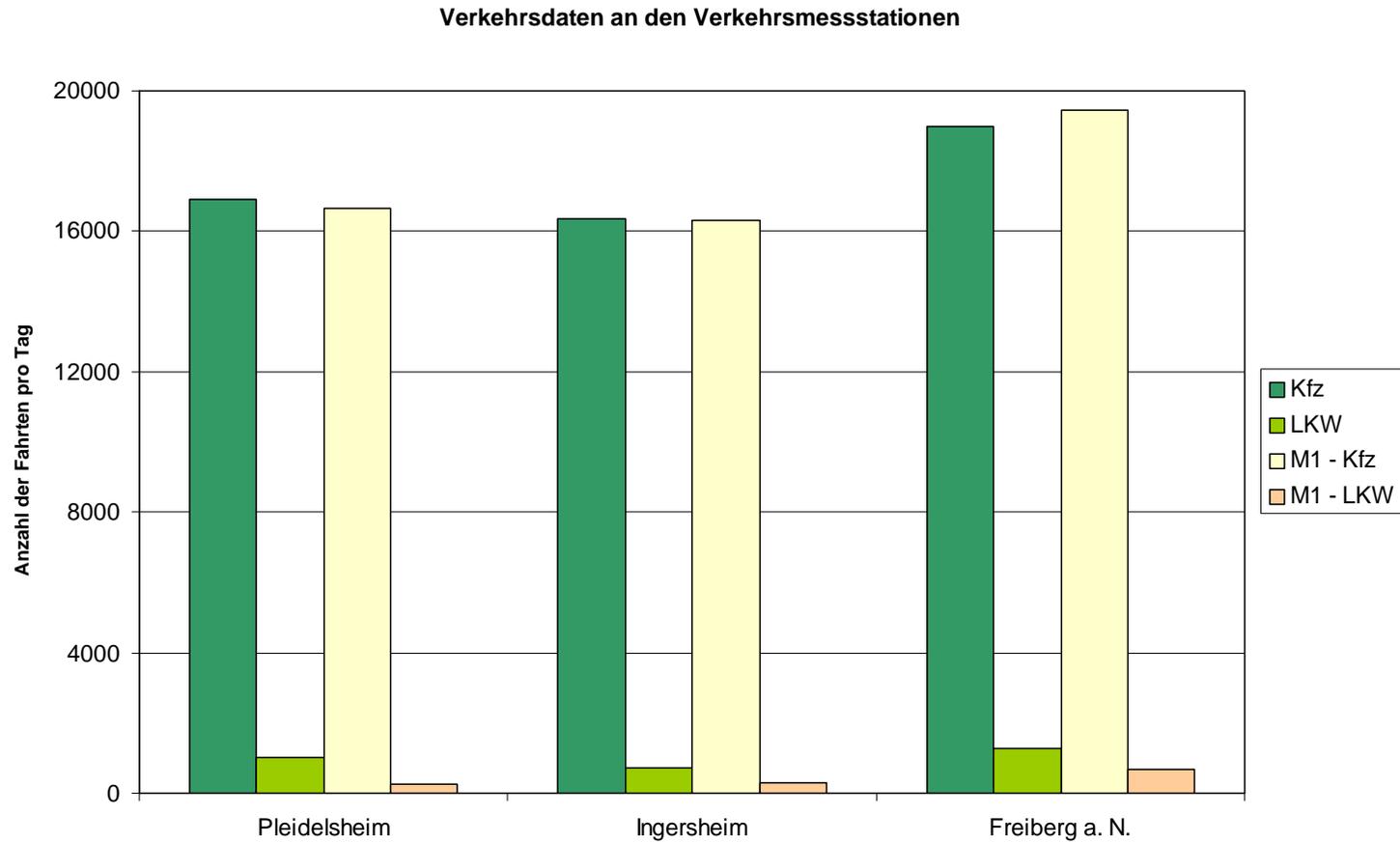


Abb. 3.4: Verkehrsbelegung an den SPOT-Messstationen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a. N.

3.3 Fahrzeugflotte

Die Zusammensetzungen der dynamischen Fahrzeugflotten, d.h. die Zusammensetzung der auf den Straßen verkehrenden Fahrzeuge, sind für innerstädtische Bereiche der dynamischen Flottenzusammensetzung für den Kreis Ludwigsburg (Aviso, 2011) für die zu betrachtenden Bezugsjahre 2011, 2012 und 2013 entnommen und in **Abb. 3.5** 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 2011 ca. 37%, im Jahr 2012 ca. 39% und im Jahr 2013 ca. 40%; der Anteil der dieselbetriebenen leichten Nutzfahrzeugfahrten umfasst im Bezugsjahr 2011 ca. 96% und in den Bezugsjahren 2012 und 2013 ca. 97%; bei den Bussen und schweren Nutzfahrzeugen setzen sich die Fahrten ausschließlich aus dieselbetriebenen zusammen.

Für die Maßnahmen **M2 (Stufe 1 und 2)** und **M2 (Stufe 3)** sowie für den Nullfall 2011 und die Trendfälle 2012 und 2013 in Pleidelsheim werden die in der Datengrundlage beschriebenen Zusammensetzungen der Fahrzeugflotten verändert, indem die vom Fahrverbot betroffenen Fahrzeugarten aus der Fahrzeugflotte ausgeschlossen werden, unter Berücksichtigung, dass ein Anteil von 20% dieser Fahrten aufgrund von Ausnahmegenehmigungen dennoch erfolgt. In **Abb. 3.6** sind die prozentualen Anteile der innerörtlichen Fahrten aufgezeigt, die von dem Fahrverbot betroffen sind.

Von den PKW-Fahrten sind im Jahr 2012 durch die Maßnahme **M2 (Stufe 1 und 2)** ca. 3% der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 7% der Lieferwagenfahrten und ca. 13% 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 ohne Ausnahmegenehmigungen 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.

Dynamische Fahrzeugflotte innerorts

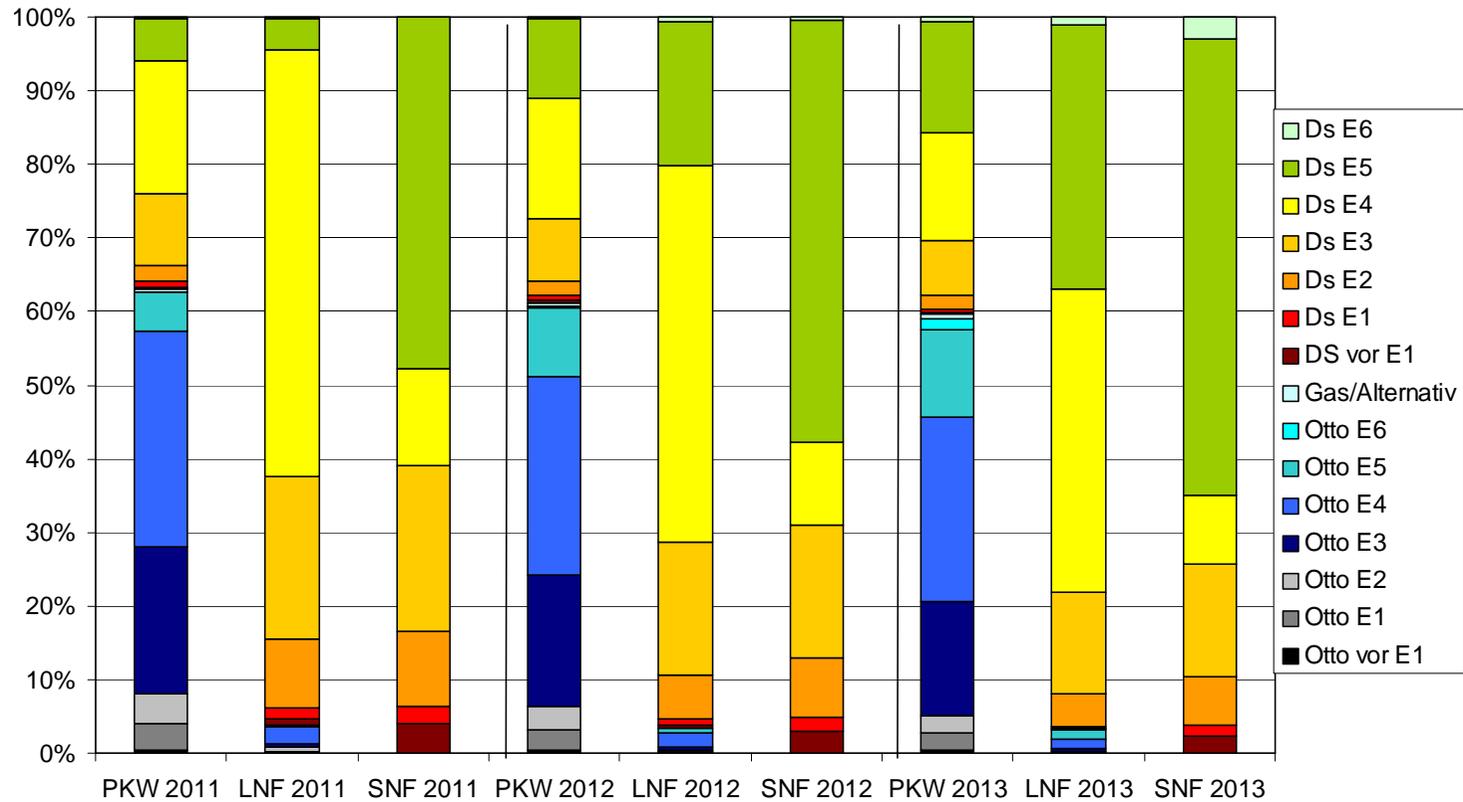


Abb. 3.5: Zusammensetzung der dynamischen Kfz-Flotte für die Jahre 2011, 2012 und 2013 unterteilt nach PKW, leichte Nutzfahrzeuge (LNF), Reisebusse, Linienbusse und schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

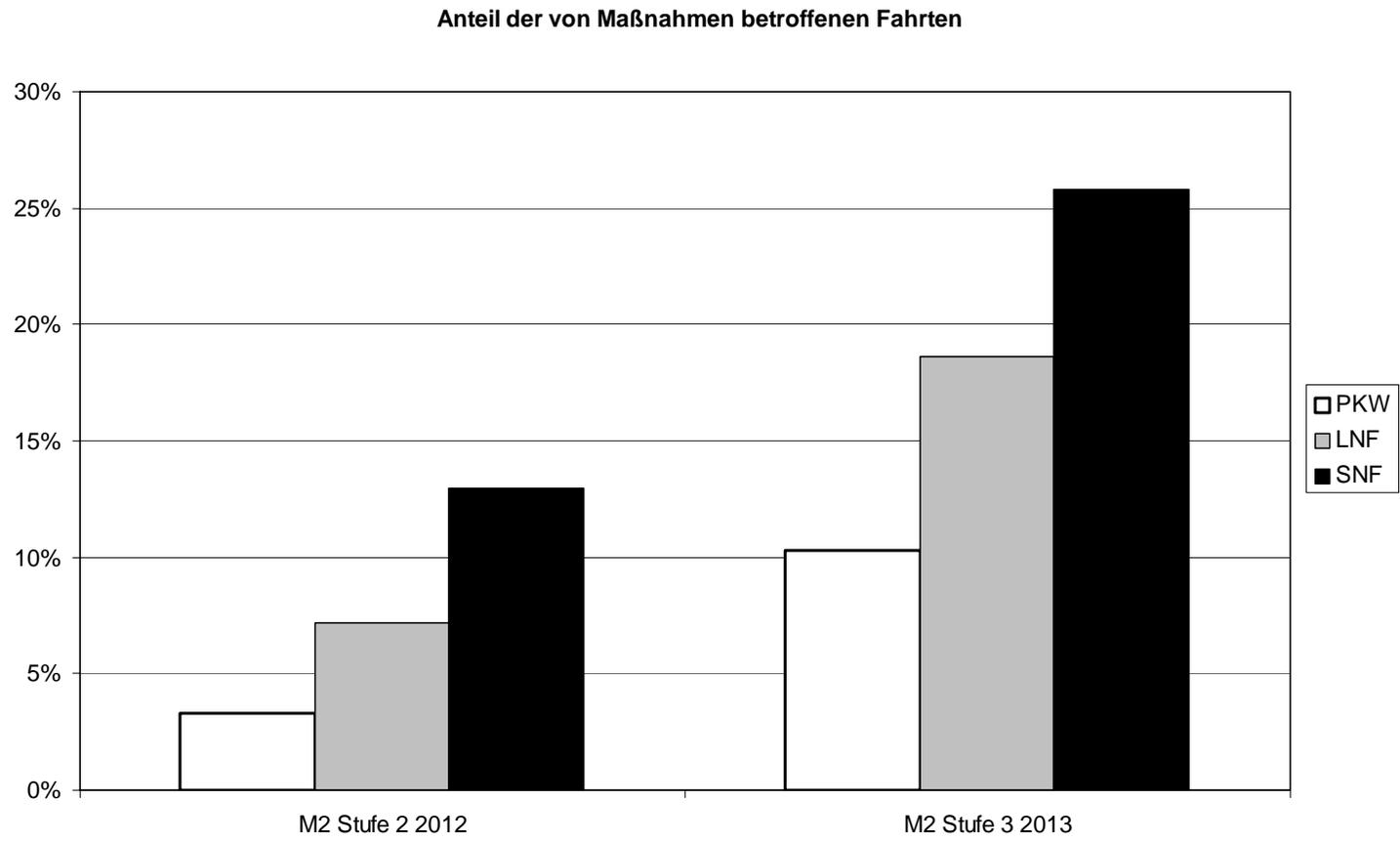


Abb. 3.6: Anteil der von den Fahrverboten betroffenen Fahrten in den beiden Maßnahmen M2 Stufe 2, 2012 und M2 Stufe 3, 2013 getrennt für PKW, Lieferwagen (LNF) und LKW (SNF)

Gegenüber der Regelung ohne Umweltzone sind von den PKW-Fahrten im Jahr 2013 durch die Maßnahme **M2 (Stufe 3)**, Umweltzone Stufe 3, ca. 10% der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 19% der Lieferwagenfahrten und ca. 26% der LKW-Fahrten betroffen. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme wird auch hier berücksichtigt, dass im Wirtschaftsverkehr nur notwendige Fahrten durchgeführt werden und deshalb eine vollständige Verlagerung der Fahrten ohne Ausnahmegenehmigungen auf Fahrzeuge erfolgt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden. Diese Annahme wurde auch auf den PKW-Verkehr übertragen und 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 Leichtverkehr (LV) und Schwerverkehr (SV) unterschieden. Die Fahrzeugart LV enthält dabei die PKW, die leichten Nutzfahrzeuge (INfz) inklusive zeitlicher Entwicklung des Anteils am LV nach TREMOD (2010) und die Motorräder, die Fahrzeugart SV versteht sich inklusive Lastkraftwagen, Sattelschlepper, Busse usw..

Die Emissionsfaktoren der Partikel (PM10, PM2.5) 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).

3.4.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mit Hilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 3.1 (UBA, 2010) berechnet.

Die motorbedingten Emissionen hängen für die Fahrzeugarten PKW, INfz, LKW und Busse 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, 2010) entnommen. Darin ist die Gesetzgebung bezüglich Abgasgrenzwerten (EURO 2, 3, ...) berücksichtigt. Die Längsneigung der Straßen wurde aus dem digitalen Geländemodell abgeleitet.

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- und Bremsbelagabrieb, Aufwirbelung von auf der Straße aufliegendem Staub etc. Diese Emissionen sind im HBEFA nicht enthalten, sie sind auch derzeit nicht mit zufrieden stellender 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 PM₁₀-Emissionen aus Abrieben (Reifen, Bremsen und Straßenbelag) und infolge der Wiederaufwirbelung (Resuspension) von Straßenstaub entsprechend der in BAST (2005) sowie Düring und Lohmeyer (2004) beschriebenen Vorgehensweise angesetzt. Es werden zur Berechnung der Emissionen für die Summe aus Reifen-, Brems- und Straßenabrieb sowie Wiederaufwirbelung von eingetragenen Straßenstaub die in **Tab. 3.1** bis **Tab. 3.3** exemplarisch für die innerstädtischen Verkehrssituationen an den verkehrsnahen Messstellen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. 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.

3.4.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen

Für den Nullfall im Jahr 2011 und die Trendfälle 2012 und 2013 mit Umweltzone Stufe 1 in Pleidelsheim sowie für die Maßnahmen **M2 (Stufe 1 und 2) 2012** und **M2 (Stufe 3) 2013** werden die Emissionsfaktoren geändert, indem die Fahrzeugflottenzusammensetzung variiert wird. Dabei wurden die Anteile der Fahrten herausgenommen, die vom jeweiligen Fahrverbot unter Berücksichtigung von Ausnahmegenehmigungen 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. Mit Berücksichtigung der möglichen Partikelfilternachrüstung ergeben sich für PKW und leichte Nutzfahrzeuge gegenüber der Verteilung auf die nicht vom Verbot betroffenen Fahrzeugkonzepte geringere Minderungen der Emissionsfaktoren der Fahrzeugflotte, bei schweren Nutzfahrzeugen zeichnen sich geringere Minderungen der NO_x-Emissionsfaktoren aber leicht höhere Minderungen der Partikel-Emissionsfaktoren ab. Die rechnerische Umsetzung der Maßnahmen erfolgt in dieser Untersuchung entsprechend der Verteilung auf die nicht vom Verbot betroffenen Fahrzeugkonzepte.

Die an den verkehrsnahen SPOT-Messstellen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. angesetzten Verkehrssituationen sind in **Tab. 3.1** bis **Tab. 3.3** aufgeführt, klassifiziert wie im HBEFA (UBA, 2010) für Längsneigungsklassen in 2%-Stufen. Mit diesen Tabellen ist ein Überblick über die zu diesen Verkehrssituationen gehörenden Emissionsfaktoren in den zu betrachtenden Bezugsjahren gegeben. Es werden folgende Verkehrssituationen herangezogen:

IOS-HVS50d: Innerörtliche Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h dichter Verkehr

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2011					
	NO _x		PM10 (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
IOS-HVS50d	0.414	6.037	0.03	0.3	0.0188	0.1099
IOS-HVS50d_6	0.489	6.171	0.03	0.3	0.0203	0.1208
S1-IOS-HVS50d	0.408	5.973	0.03	0.3	0.0175	0.0910

Tab. 3.1: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den verkehrsnahen Messstellen für das Bezugsjahr 2011 nach HBEFA unter Berücksichtigung der Flottenzusammensetzung für den Landkreis Ludwigsburg für den Referenzfall 2011 (Umweltzone Stufe 1 (S1) in Pleidelsheim und ohne Umweltzone in Ingersheim und Freiberg a.N.)

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2012					
	NO _x		PM10 (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
IOS-HVS50d	0.414	5.852	0.03	0.3	0.0188	0.1042
IOS-HVS50d_6	0.489	5.868	0.03	0.3	0.0203	0.1139
S1-IOS-HVS50d	0.407	5.801	0.03	0.3	0.0175	0.0867
S2-IOS-HVS50d	0.397	5.752	0.03	0.3	0.0153	0.0816
S2-IOS-HVS50d_6	0.468	5.241	0.03	0.3	0.0166	0.0870

Tab. 3.2: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den verkehrsnahen Messstellen für das Bezugsjahr 2012 nach HBEFA unter Berücksichtigung der Flottenzusammensetzung für den Landkreis Ludwigsburg für den Trendfall 2012 (Umweltzone Stufe 1 (S1) in Pleidelsheim und ohne Umweltzone in Ingersheim und Freiberg a.N.) und die Maßnahme M2 Umweltzone Stufe 1 und 2 (S2).

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2013					
	NO _x		PM10 (nur Abrieb und Aufwirl.)		Partikel (nur Abgas)	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
IOS-HVS50d	0.395	5.637	0.03	0.3	0.0139	0.0846
IOS-HVS50d_6	0.470	5.067	0.03	0.3	0.0149	0.0915
S1-IOH-HVS50d	0.391	5.593	0.03	0.3	0.0131	0.0728
S3-IOH-HVS50d	0.349	5.352	0.03	0.3	0.0085	0.0494
S3-IOH-HVS50d_6	0.414	3.683	0.03	0.3	0.0093	0.0512

Tab. 3.3: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den verkehrsnahen Messstellen für das Bezugsjahr 2013 nach HBEFA unter Berücksichtigung der Flottenzusammensetzung für den Landkreis Ludwigsburg für den Trendfall 2013 (Umweltzone Stufe 1 (S1) in Pleidelsheim und ohne Umweltzone in Ingersheim und Freiberg a.N.) und die Maßnahme M2 Umweltzone Stufe 3 (S3).

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 Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. liegen keine Messdaten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten vor. In der weiteren Umgebung des Betrachtungsgebietes liegen Winddaten von Messstationen des Landesmessnetzes Baden-Württemberg vor. Das ist die Messstation Ludwigsburg, ca. 7 km südlich von Pleidelsheim am Stadtrand von Ludwigsburg. Weiterhin liegen einjährige Messdaten von Bietigheim, ca. 5 km westlich von Pleidelsheim vor. In Neckarwestheim, ca. 8 km nördlich von Pleidelsheim werden Winddaten erhoben, die aufgrund von Datenlücken aber nicht herangezogen werden können.

In der Umgebung von Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. wird das Relief durch den Verlauf des Neckartals geprägt. Damit ergibt sich im Bereich von Pleidelsheim und Ingersheim in west-östlicher Richtung eine lang gestreckte Geländemulde, die im Süden durch die Erhebungen bei Freiberg und im Norden bei Mundelsheim begrenzt wird. Die Geländever-

hältnisse begünstigen damit die Hauptwindrichtungen, die wie in Bietigheim mit westlichen sowie östlichen Winden auftreten. Gegenüber der Messstation in Bietigheim liegen Pleidelsheim und Ingersheim in einer geringeren Höhe über NN, sodass gegenüber der in Bietigheim erfassten jährlichen Windgeschwindigkeit von ca. 2.9 m/s in der Muldenlage etwas geringere Windgeschwindigkeiten zu erwarten sind. Die Station Ludwigsburg weist aufgrund der topografischen Gegebenheiten als Hauptwindrichtungen Winde aus nordwestlicher sowie südöstlicher Richtung bei einer mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit von ca. 2 m/s auf.

Für Baden-Württemberg wurden synthetische Windrosen berechnet (LUBW, Internet). Für den Bereich von Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg weisen diese Berechnungen ebenfalls als Hauptwindrichtungen westliche sowie östliche Richtungen auf, wobei zusätzlich als drittes Nebenmaximum in Pleidelsheim und Ingersheim nördliche Windrichtungen und in Freiberg südliche Windrichtungen vertreten sind, als Winde entlang der Orientierung des Neckarverlaufs. Die in Pleidelsheim Ingersheim und Freiberg berechneten Windgeschwindigkeiten betragen ca. 2.0 m/s bis 2.4 m/s.

Für die Ausbreitungsrechnungen für Pleidelsheim Ingersheim und Freiberg werden die Winddaten der Station Ludwigsburg herangezogen und entsprechend der Ausrichtung der Geländemulde um 20 Grad gedreht. **Abb. 3.7** zeigt die für das Untersuchungsgebiet ange-setzte Windrose. Die Hauptwindrichtungen werden durch westliche Winde geprägt. Ein Nebenmaximum der Häufigkeiten wird durch Winde aus östlicher Richtung gekennzeichnet, die überwiegend geringere Strömungsgeschwindigkeiten aufweisen. Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit beträgt in Messhöhe ca. 2.0 m/s. Diese Daten werden für die Ausbreitungsrechnung angesetzt, wobei die Ausbreitungsklassen anhand der aus den Bewölkungsangaben der Wetterstation Stuttgart -Schnarrenberg abgeleiteten Häufigkeitsverteilung mit dem Verfahren nach Kolb (1976) auf den Standort Pleidelsheim, Ingerseim und Freiberg übertragen werden.

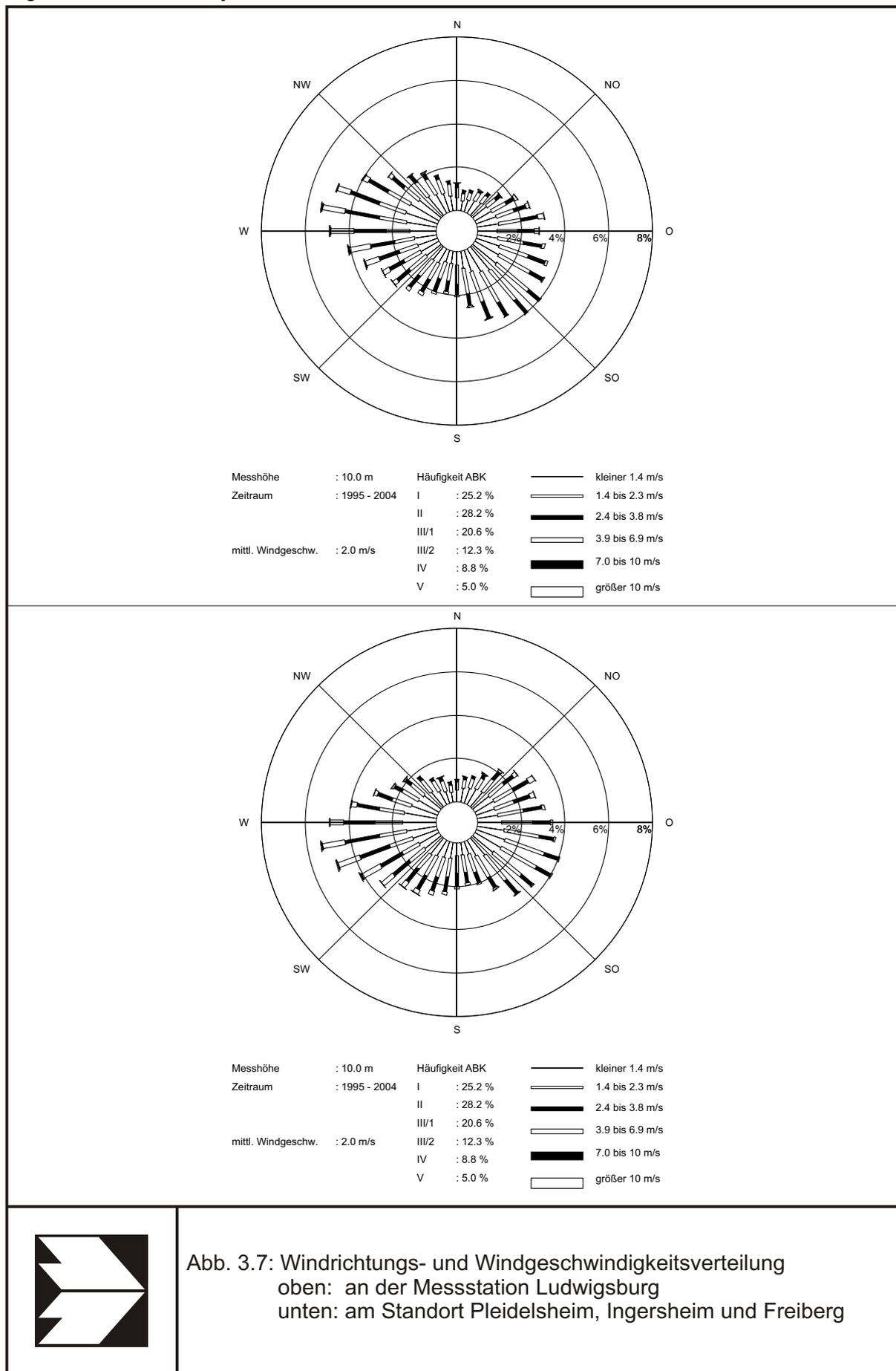


Abb. 3.7: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung
 oben: an der Messstation Ludwigsburg
 unten: am Standort Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg

4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN

4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte

Basierend auf den o.g. Flotten- und spezifischen Emissionsdaten werden die Emissionen für die Hauptverkehrsstraßen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. berechnet. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse konzentriert sich im Folgenden auf die Straßenabschnitte an den bislang betriebenen SPOT-Messstellen.

Mit den in Kap. 3 aufgeführten Auswertungen der Emissionsfaktoren durch Modifizierungen der Flotte werden folgend die Emissionen der genannten Streckenabschnitte für die Bezugsjahre 2011, 2012 und 2013 jeweils ohne und mit Maßnahmen aufgeführt.

Die berechneten mittleren täglichen NO_x- und PM10-Emissionen an den SPOT-Messstellen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. sind in den **Abb. 4.1** (oben) bis **Abb. 4.3** (oben) und als relative Darstellungen bezogen auf die Emissionsmodellierung des Referenzzustandes, d.h. den Nullfall im Jahr 2011, in den **Abb. 4.1** (unten) bis **Abb. 4.3** (unten) aufgezeigt.

Entsprechend der Verkehrsbelegung und dem LKW-Anteil zeigen sich bei den betrachteten Straßenabschnitten deutliche Unterschiede der Emissionen.

In **Pleidelsheim** (**Abb. 4.1**) nehmen die NO_x-Emissionen gegenüber dem Nullfall mit der Maßnahme **M1** 2011 bis auf 66% ab. Mit den Maßnahmen **M1 + M2 (Stufe 1 und 2)** nehmen die NO_x-Emissionen im Jahr 2012 bis auf 64% des Nullfalls 2011 ab und mit den Maßnahmen **M1 + M2 (Stufe 3)** nehmen die NO_x-Emissionen im Jahr 2012 bis auf 57% des Nullfalls 2011 ab.

Bei den Partikelemissionen wird die Summe aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ Beiträgen betrachtet. Gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2011, sind an der SPOT-Messstelle in Pleidelsheim mit der Maßnahme **M1** 2011 ca. 77%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 ca. 73% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 63% der PM10-Emissionen zu erwarten.

In **Ingersheim** (**Abb. 4.2**) nehmen die NO_x-Emissionen gegenüber dem Nullfall mit der Maßnahme **M1** 2011 bis auf 79% ab. Mit den Maßnahmen **M1 + M2 (Stufe 1 und 2)** nehmen die NO_x-Emissionen im Jahr 2012 bis auf 74% des Nullfalls 2011 ab und mit den Maßnah-

men **M1 + M2 (Stufe 3)** nehmen die NO_x-Emissionen im Jahr 2012 bis auf 63% des Nullfalls 2011 ab.

Bei den PM10-Emissionen sind gegenüber dem Nullfall 2011 an der SPOT-Messstelle in Ingersheim mit der Maßnahme **M1** 2011 ca. 85%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 ca. 79% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 67% zu erwarten.

In **Freiberg a.N. (Abb. 4.3)** nehmen die NO_x-Emissionen gegenüber dem Nullfall mit der Maßnahme **M1** 2011 bis auf ca. 80% ab. Mit den Maßnahmen **M1 + M2 (Stufe 1 und 2)** nehmen die NO_x-Emissionen im Jahr 2012 bis auf ca. 76% des Nullfalls 2011 ab und mit den Maßnahmen **M1 + M2 (Stufe 3)** nehmen die NO_x-Emissionen im Jahr 2012 bis auf ca. 68% des Nullfalls 2011 ab.

Bei den PM10-Emissionen sind gegenüber dem Nullfall 2011 an der SPOT-Messstelle in Freiberg a.N. mit der Maßnahme **M1** 2011 ca. 87%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 ca. 80% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 70% zu erwarten.

Die Maßnahme M1 LKW-Durchfahrverbot führt zu deutlich geringerem Schwerverkehr und die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei durch die Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 die größten Reduktionen der NO_x- und PM10-Emissionen zu erwarten sind.

Bei den PM10-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 Fahrverbote entsprechend der Kennzeichnungsverordnung wirken nur hinsichtlich der Verringerung der motorbedingten PM10-Emissionen und werden durch gleich bleibende Anteile der nicht motorbedingten Beiträge abgeschwächt. Die „nicht motorbedingten“ Beiträge der PM10-Belastungen sind überwiegend der gröberen Fraktion zuzuschreiben und damit gegenüber den sehr feinen motorbedingten Partikeln weniger lungengängig.

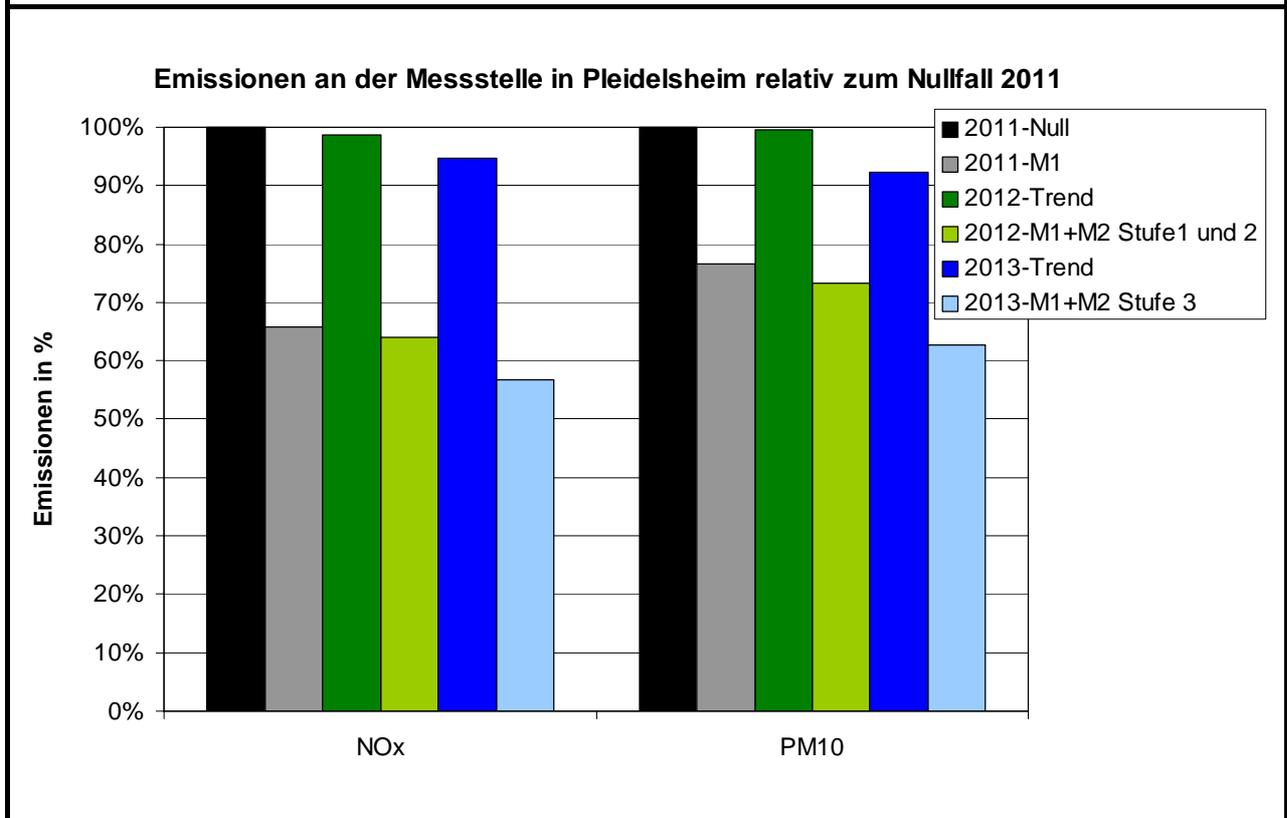
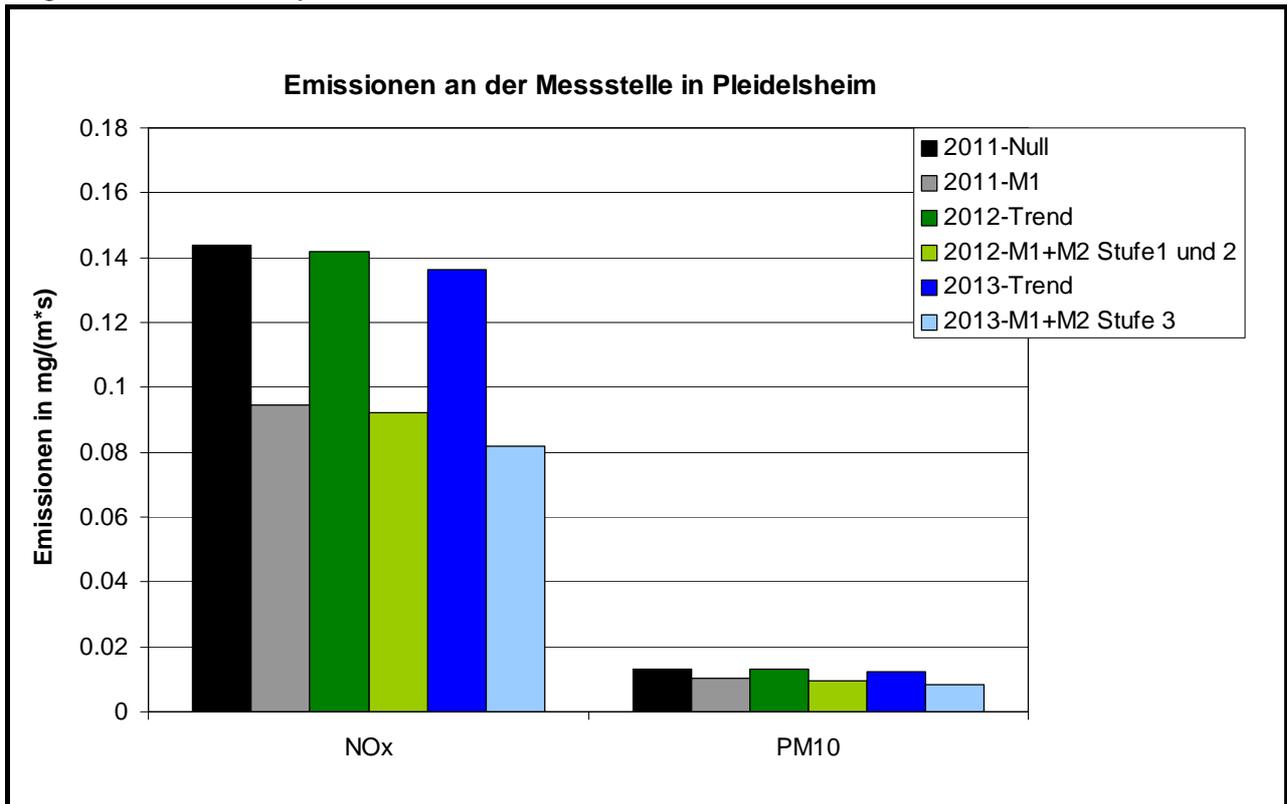


Abb. 4.1: Emissionen an der SPOT-Messstelle in Pleidelsheim
 oben: Emissionen in [mg/(m*s)]
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2011 in %

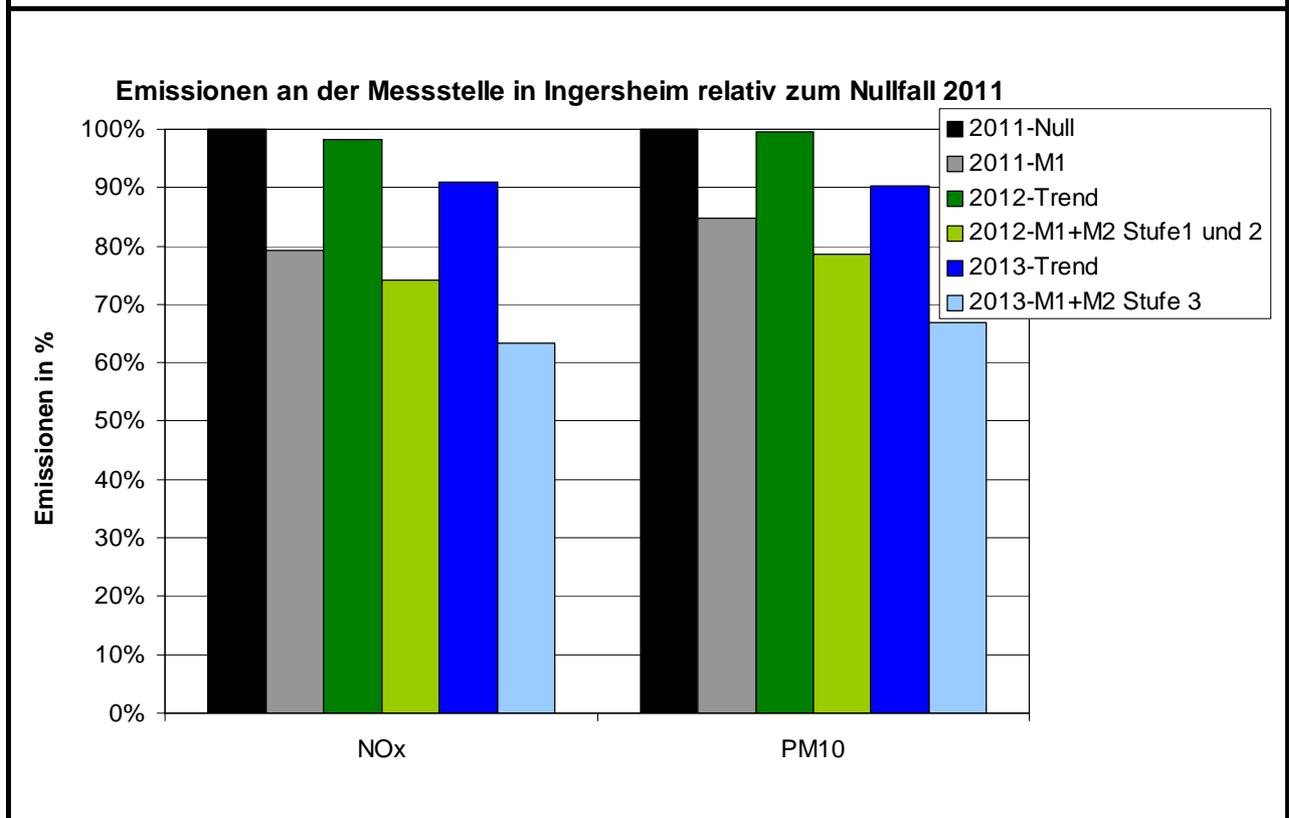
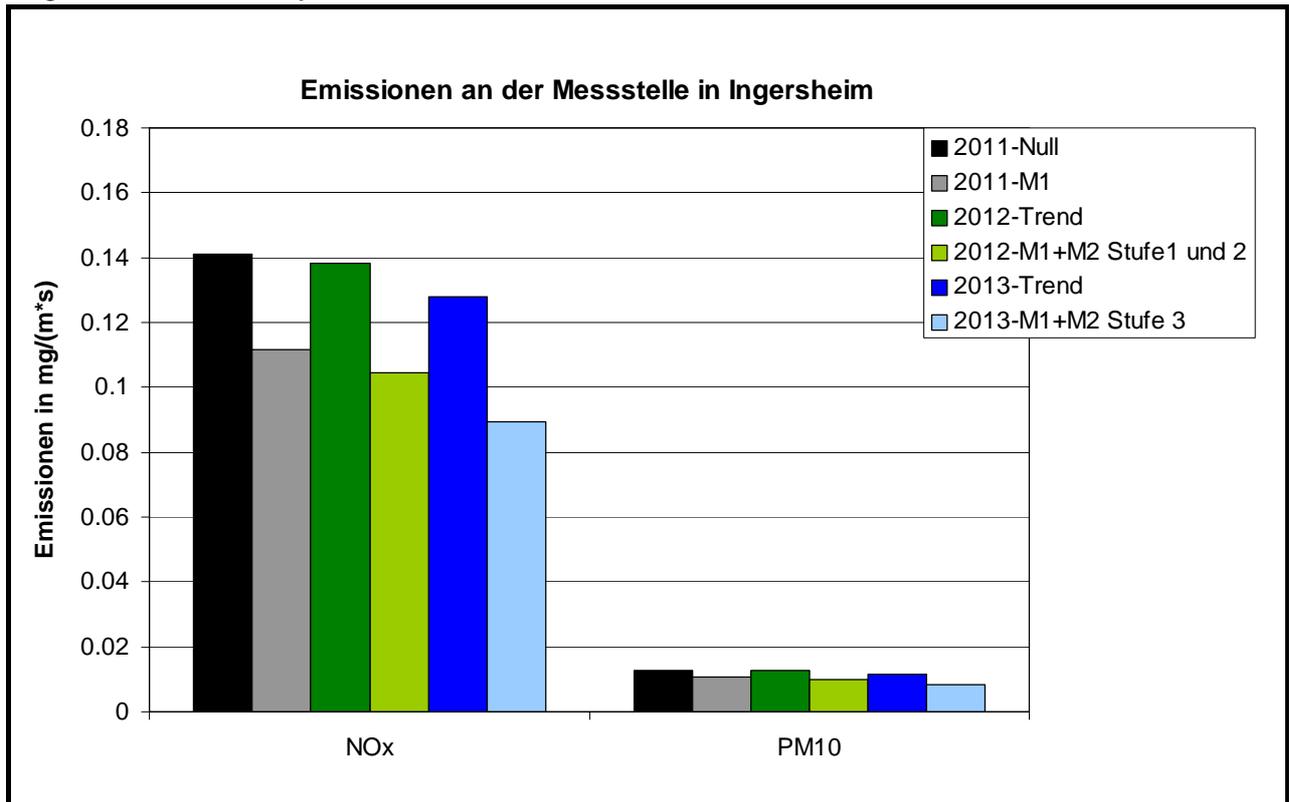


Abb. 4.2: Emissionen an der SPOT-Messstelle in Ingersheim
 oben: Emissionen in [mg/(m³*s)]
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2011 in %

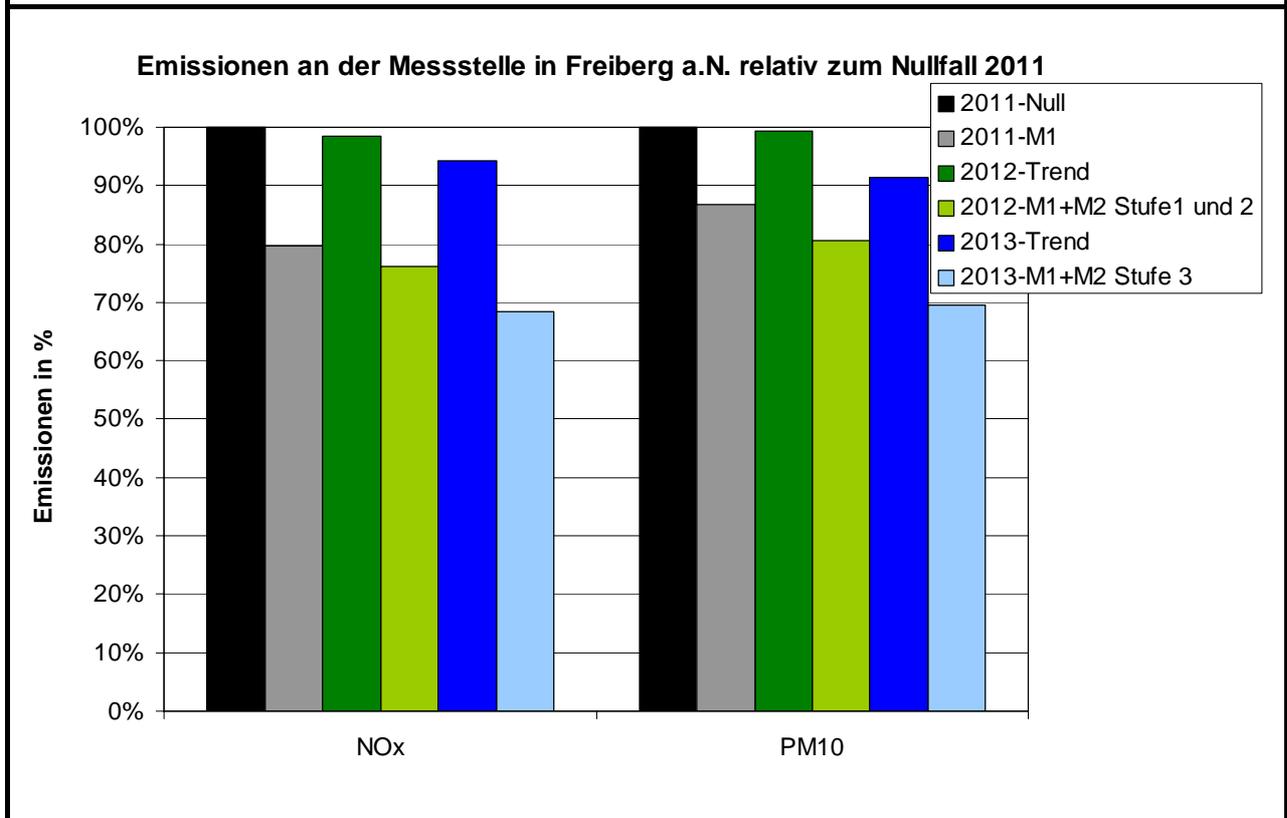
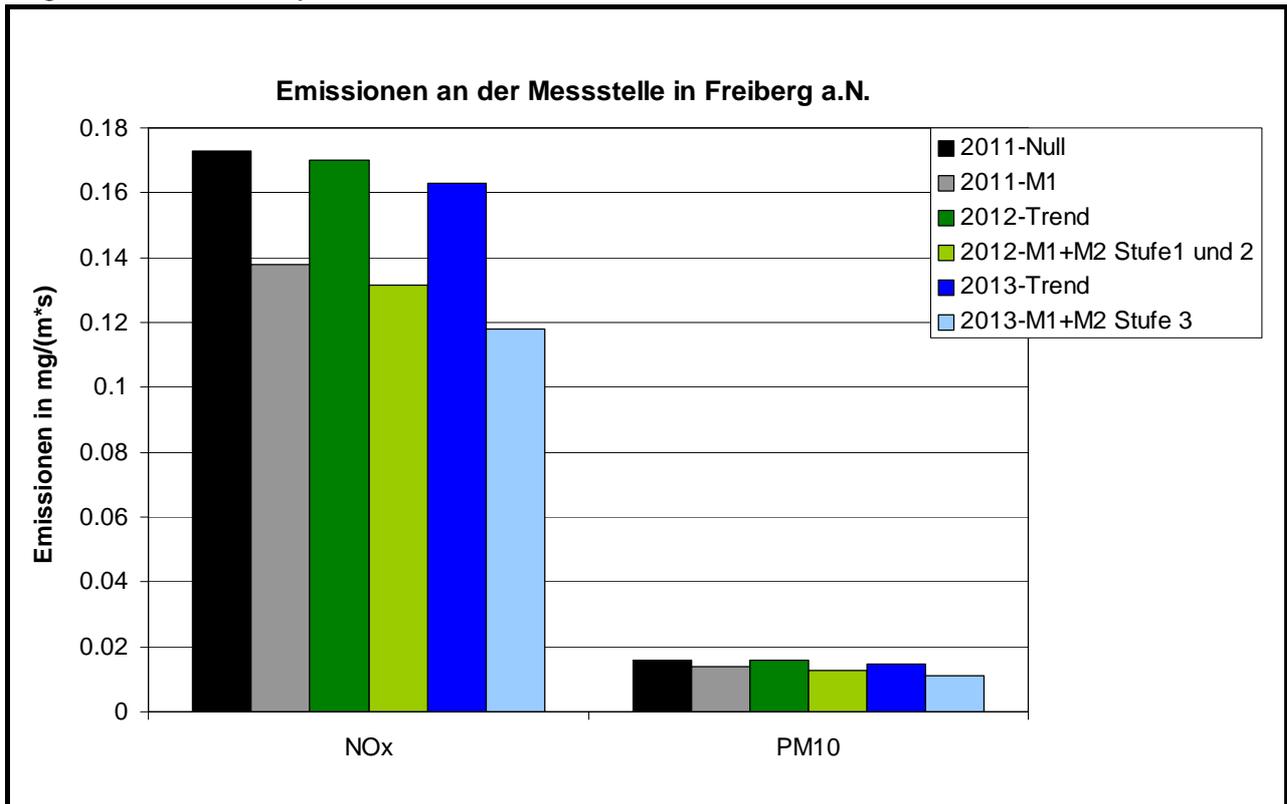


Abb. 4.3: Emissionen an der SPOT-Messstelle in Freiberg a. N.
 oben: Emissionen in [mg/(m*s)]
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2011 in %

4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen

Seit 2004 werden in Pleidelsheim an der SPOT-Messstelle an der Beihinger Straße die NO₂- und PM10-Immissionen erfasst. Seit Januar 2008 wird jeweils eine SPOT-Messstelle an der Tiefengasse in Ingersheim und an der Benninger Straße in Freiberg a.N. betrieben. **Tab. 4.1** zeigt eine Zusammenstellung der Messdaten in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. für die Straßenmesspunkte in den Jahren, für die Messdaten vorliegen.

Schadstoffkomponente	Zeitraum	Pleidelsheim	Ingersheim	Freiberg a.N.
NO ₂ - Jahresmittel	2004	74	-	-
	2005	73	-	-
	2006	71	-	-
	2007	57	-	-
	2008	64	59	54
	2009	66	56	-
	2010	58	57	53
PM10- Jahresmittel	2004	35	-	-
	2005	36	-	-
	2006	39	-	-
	2007	31	-	-
	2008	30	28	32
	2009	32	-	-
	2010	31	-	-
Zahl der Überschreitungen des PM10-Tagesmittelwertes	2004	48	-	-
	2005	55	-	-
	2006	76	-	-
	2007	43	-	-
	2008	41	22	55
	2009	43	-	-
	2010	40	-	-

Tab. 4.1: Messdaten 2004 bis 2010 an den Messpunkten in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. (LUBW, 2005 - 2010), PM10-Überschreitung = Anzahl der Tage über 50 µg/m³.

Für die Beschreibung der Auswirkungen möglichen Maßnahmen basierend auf den vorgestellten Emissionsermittlungen 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 Ortsbereiche mit Werten für NO₂-Jahresmittelwerte von 26 µg/m³ und für PM10-Jahresmittelwerte von 19 µg/m³ abgeleitet und dann auf die verkehrsbeeinflussten Stationsstandorte angewendet, um einen Vergleich zwischen den Mittelwerten der Messda-

ten und den Berechnungsergebnissen zu erhalten. Bei den Berechnungen wird die Randbebauung typisiert nach Straßenraumbreite, Höhe der Randbebauung und Lückigkeit der Randbebauung für einzelne Straßenabschnitte mit einer Länge von ca. 100 m berücksichtigt. Innerhalb dieser Straßenabschnitte wird eine einheitliche Immission berechnet; mit diesem Berechnungsverfahren kann keine weitere örtliche Differenzierung erfolgen. Für feinere räumliche Auflösungen der berechneten Immissionen wäre der Einsatz eines mikroskaligen Rechenverfahrens mit detaillierter Berücksichtigung der Gebäudeumströmungen erforderlich.

Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen für die SPOT-Stationen sind für den Nullfall 2011 in **Tab. 4.2** aufgeführt.

	NO₂- Jahresmittel- wert [µg/m³]	PM10- Jahresmittel- wert [µg/m³]	PM10 Anzahl Überschrei- tungs- tage
SPOT Pleidelsheim	58	30	39
SPOT Ingersheim	57	29	37
SPOT Freiberg a.N	53	27	30

Tab. 4.2: Berechnete Immissionen an den Straßenmessstationen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. für das Jahr 2011

Die berechneten NO₂- und PM10-Belastungen weisen an den Messstationen sehr gute Übereinstimmungen mit den Messdaten auf. An allen Straßenabschnitten werden deutliche Überschreitungen des Grenzwertes für NO₂ gemessen. Die berechneten Ergebnisse zeigen ebenfalls deutliche Grenzwertüberschreitungen. Die berechneten PM10-Immissionen weisen ebenfalls sehr gute Übereinstimmungen mit den Messdaten auf. Die statistische Ableitung der PM10-Überschreitungstage basiert auf einem konservativen Ansatz (siehe Anhang A1.4) und führt tendenziell zu höheren Angaben; die Messdaten der Station Pleidelsheim entsprechen diesem Ansatz.

Mit der selben Vorgehensweise werden basierend auf den prognostizierten Verkehrsleistungsdaten für die zu betrachtenden Jahre 2011, 2012 und 2013 Immissionsberechnungen für die genannten Maßnahmen und Jahre durchgeführt. Die Ergebnisse werden zusammenfassend für die SPOT-Messstellen als Konzentrationen und als relative Änderungen dargestellt, um die Auswirkungen der Maßnahmen und der zeitlichen Entwicklungen der Kfz-Flotte auf die Gesamtbelastungen zu beschreiben.

In den **Abb. 4.4** (oben) bis **Abb. 4.6** (oben) sind die berechneten Jahresmittelwerte für NO₂ und PM10 und in **Abb. 4.4** (unten) bis **Abb. 4.6** (unten) die relativen Änderungen der berechneten NO₂- und PM10-Immissionen für die Jahre 2011, 2012 und 2013 sowie für die Maßnahmen **M1**, **M2 (Stufe 1 und 2)** und **M2 (Stufe 3)** bezogen auf den Nullfall 2011 aufgezeigt. Im Anhang A2 sind die berechneten Immissionen für die betrachteten Hauptverkehrsstraßen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. grafisch dargestellt.

In **Pleidelsheim (Abb. 4.4)** weisen gegenüber dem Nullfall 2011 die NO₂-Belastungen an der SPOT-Messstelle mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 88%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 ca. 87% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 etwa 84% der Gesamtbelastungen auf. Mit der natürlichen Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2013 sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten NO₂-Beiträge zu erwarten, die entsprechend den Berechnungen an den betrachteten Straßenabschnitten nicht zur Einhaltung des geltenden Grenzwertes von 40 µg/m³ führen. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote für LKW und nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer deutlichen Verringerung der NO₂-Gesamtbelastungen, die jedoch ebenfalls nicht zur Einhaltung des gelten Grenzwertes führt.

Die prognostizierten PM10-Immissionen weisen gegenüber dem Nullfall 2011 mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 92%, im Jahr 2012 mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** ca. 91% und im Jahr 2013 mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** ca. 87% der Gesamtbelastungen auf. Mit der natürlichen Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2013 sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten PM10-Beiträge zu erwarten.

Anhand der PM10-Jahresmittelwerte können Rückschlüsse auf die Anzahl an Überschreitungstagen mit Tagesmittelwerten über 50 µg/m³ gezogen werden. Danach ist an der betrachteten SPOT-Messstelle im Nullfall 2011 mit ca. 39 Überschreitungstagen zu rechnen. In den Jahren 2012 und 2013 ohne Maßnahmen ist ebenfalls eine Überschreitung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes möglich. Die Umsetzung der Maßnahmen in Pleidelsheim führt zu einer Unterschreitung des Kurzzeitbelastungswertes.

Die berechneten NO₂-Belastungen in **Ingersheim** sind in **Abb. 4.5** dargestellt. Gegenüber dem Nullfall 2011 weisen die NO₂-Belastungen an der SPOT-Messstelle mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 93%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 ca. 91% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 etwa 86% der Gesamtbelastungen auf. Mit der natürlichen Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2013 sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten NO₂-Beiträge zu erwarten, die entsprechend den Berechnungen an den betrachteten Straßenabschnitten nicht zur Einhaltung des geltenden Grenzwertes von 40 µg/m³ führen. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrver-

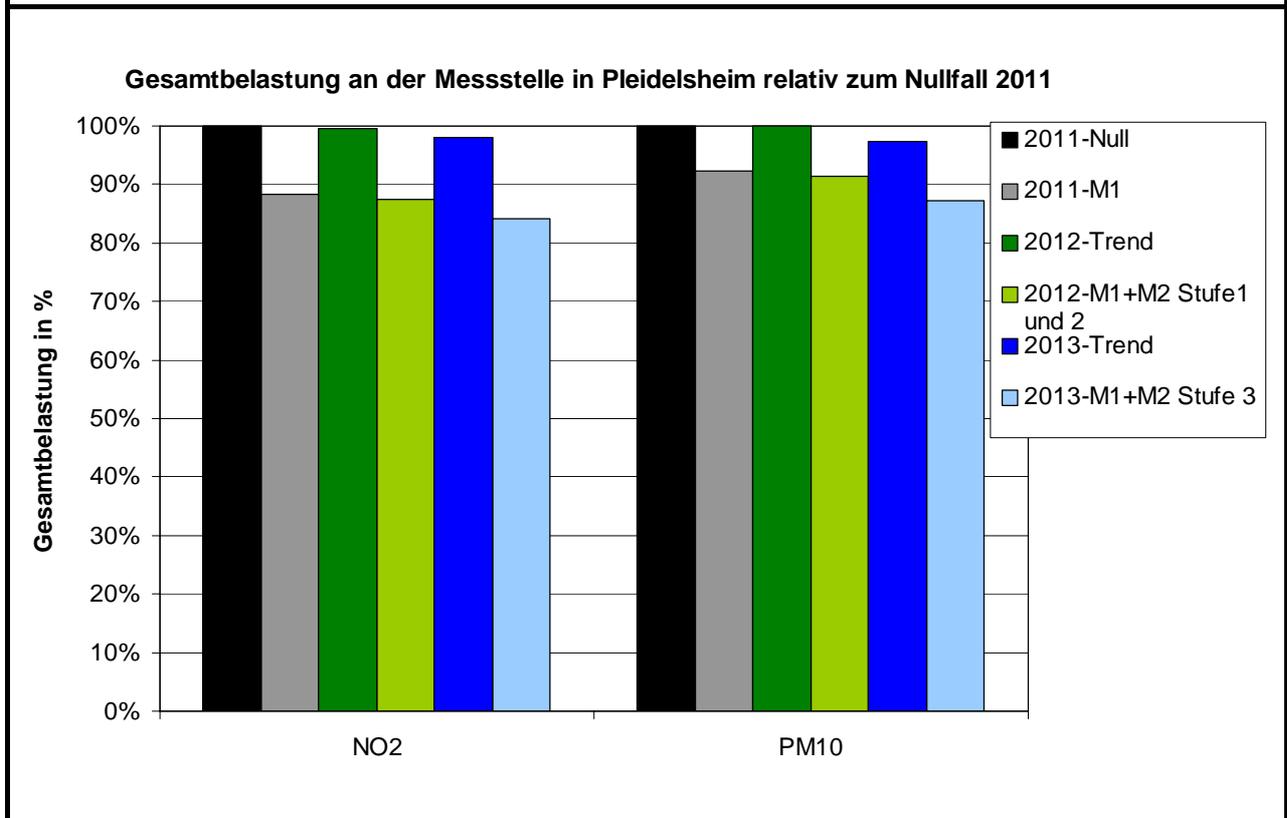
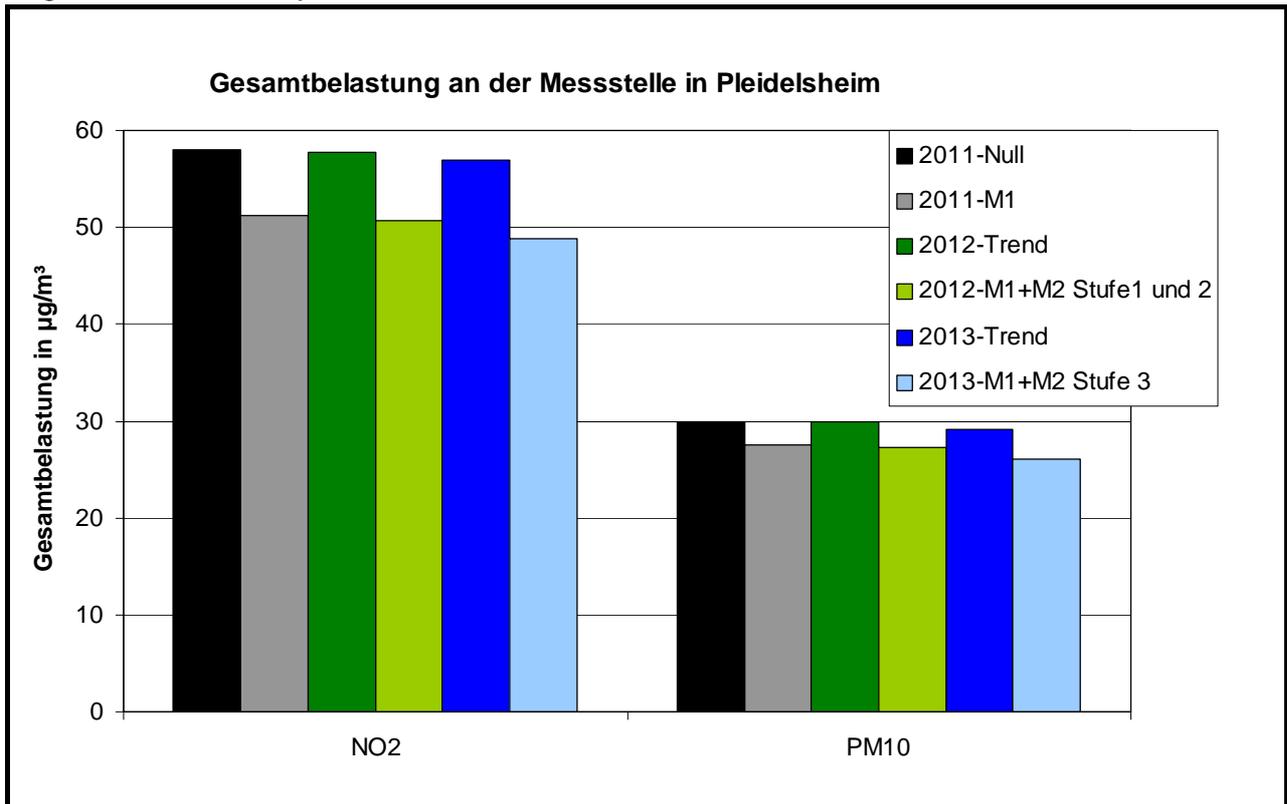


Abb. 4.4: Immissionen an der SPOT-Messstelle in Pleidelsheim
 oben: Immissionen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2011 in %

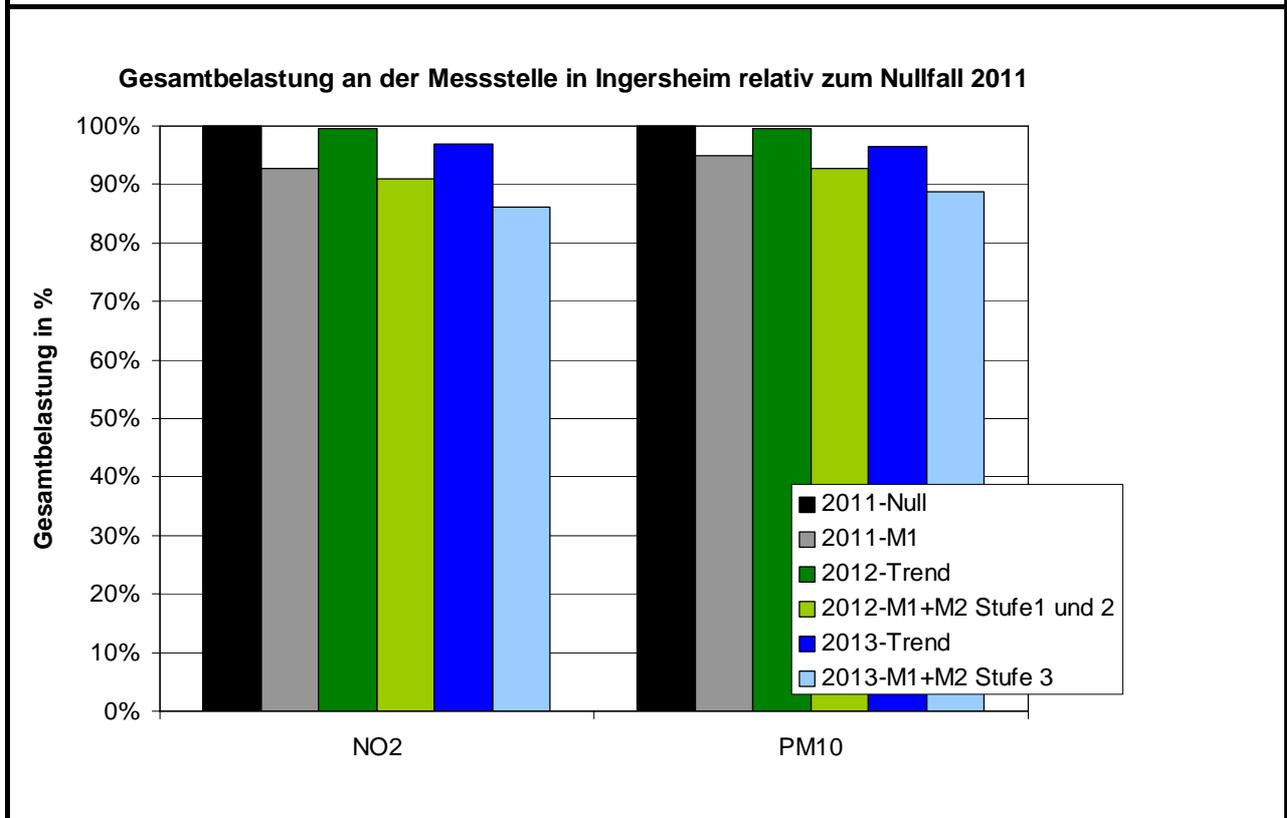
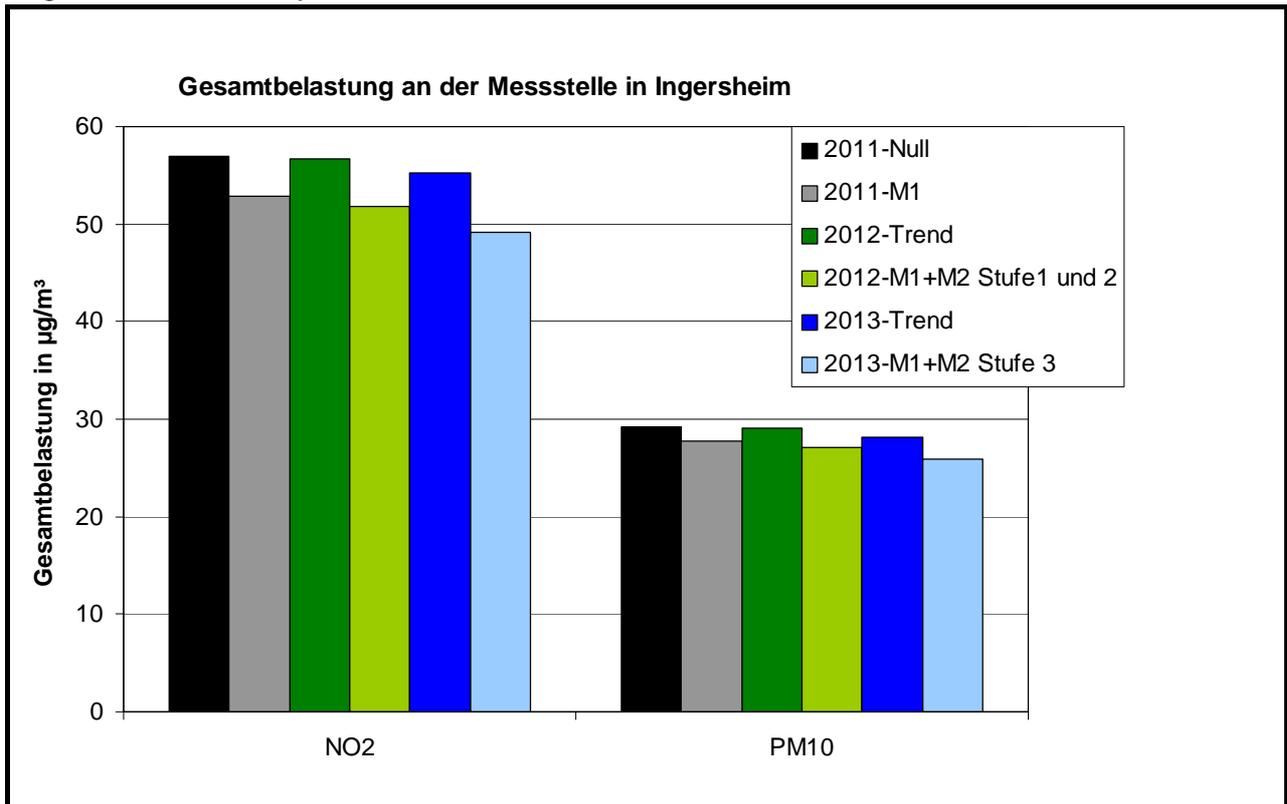


Abb. 4.5 Immissionen an der SPOT-Messstelle in Ingersheim
 oben: Immissionen in $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2011 in %

bote für LKW und nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer deutlichen Verringerung der NO₂-Gesamtbelastungen, die jedoch ebenfalls nicht zur Einhaltung des gelten Grenzwertes führt.

Die prognostizierten PM10-Immissionen weisen gegenüber dem Nullfall 2011 mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 95%, im Jahr 2012 mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** ca. 93% und im Jahr 2013 mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** ca. 89% der Gesamtbelastungen auf. Mit der natürlichen Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2013 sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten PM10-Beiträge zu erwarten. Durch die Umsetzung der Maßnahmen sind deutliche Verringerungen der PM10-Gesamtbelastung zu erwarten.

An der betrachteten SPOT-Messstelle in Ingersheim ist im Nullfall 2011 mit ca. 37 Überschreitungstagen des PM10-Tagesmittelwertes über 50 µg/m³ zu rechnen. Im Jahr 2012 ohne Maßnahmen ist ebenfalls eine Überschreitung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes möglich. Die Umsetzung der Maßnahmen sowie die natürliche Erneuerung der Fahrzeugflotte im Jahr 2013 führt zu einer Unterschreitung des Kurzzeitbelastungswertes.

In **Freiberg a.N. (Abb. 4.6)** weisen gegenüber dem Nullfall 2011 die NO₂-Belastungen an der SPOT-Messstelle mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 93%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 ca. 92% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 etwa 89% der Gesamtbelastungen auf. Mit der natürlichen Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2013 sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten NO₂-Beiträge zu erwarten, die entsprechend den Berechnungen an den betrachteten Straßenabschnitten nicht zur Einhaltung des geltenden Grenzwertes von 40 µg/m³ führen. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote für LKW und nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer deutlichen Verringerung der NO₂-Gesamtbelastungen, die jedoch ebenfalls nicht zur Einhaltung des gelten Grenzwertes führt.

Die prognostizierten PM10-Immissionen weisen gegenüber dem Nullfall 2011 mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 96%, im Jahr 2012 mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** ca. 95% und im Jahr 2013 mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** ca. 91% der Gesamtbelastungen auf. Mit der natürlichen Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2013 sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten PM10-Beiträge zu erwarten.

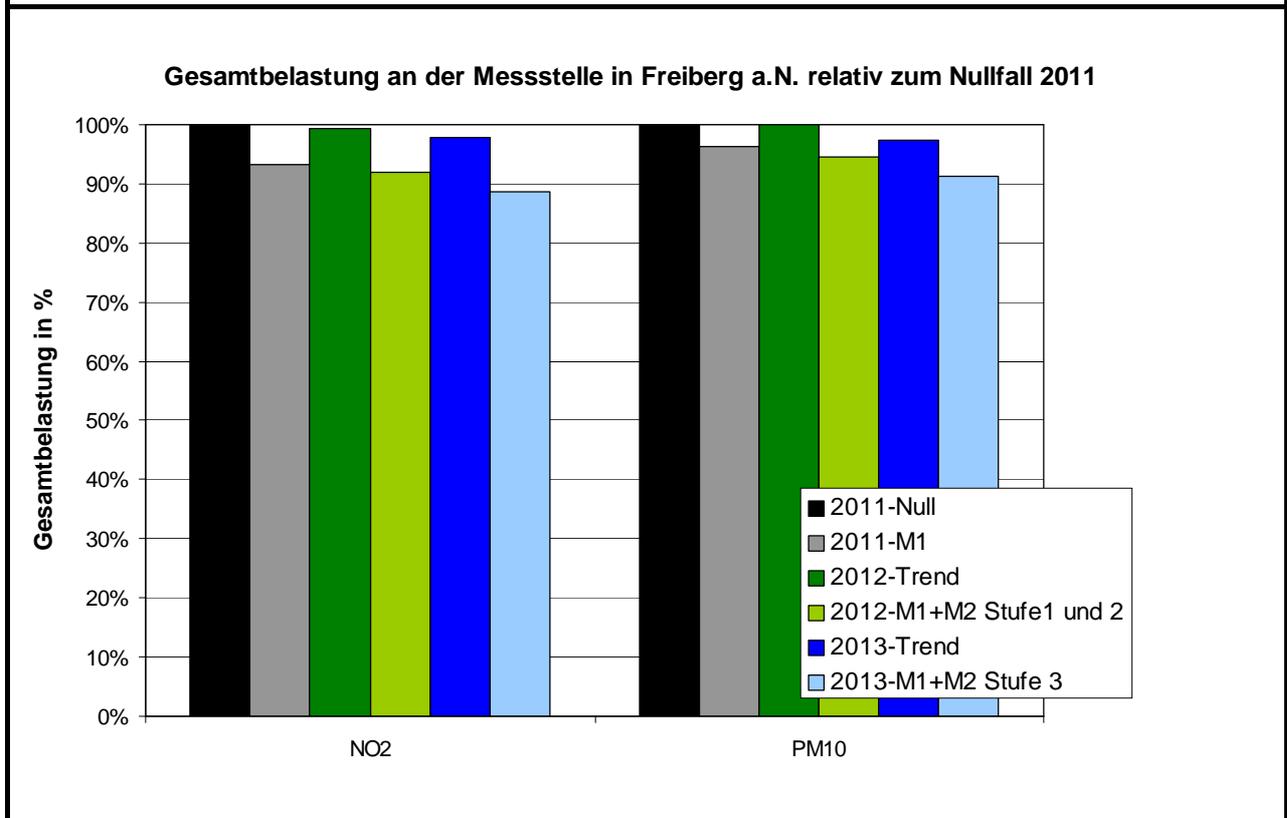
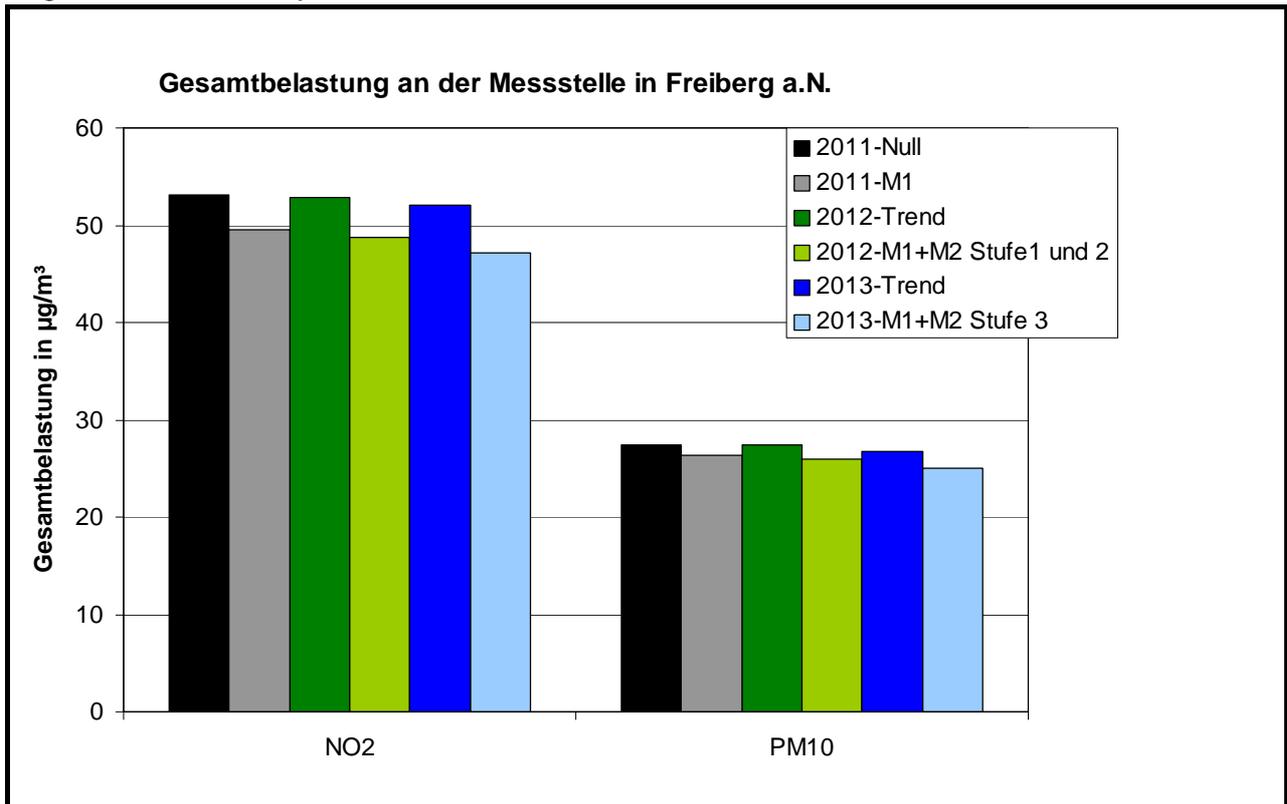


Abb. 4.6 Immissionen an der SPOT-Messstelle in Freiberg a. N.
 oben: Immissionen in [µg/m³]
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2011 in %

An der betrachteten SPOT-Messstelle in Freiberg a.N. ist im Nullfall 2011 mit ca. 30 Überschreitungstagen zu rechnen. Damit ist eine Überschreitung der zulässigen Anzahl an Tagen mit PM10-Tagesmittelwerten über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sowohl im Nullfall und in den Trendfällen als auch mit der Umsetzung der Maßnahmen nicht zu erwarten.

Ergänzend zu den PM10-Berechnungen ist zu erwähnen, dass in der 39.BImSchV auch ein Grenzwert für PM2.5 von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben ist, der ab dem Jahr 2015 einzuhalten ist. Für den Grenzwert ist zudem eine Toleranzmarge von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben. Sie verringert sich ab dem Jahr 2009 jährlich um ein siebtel bis auf 0 zum 1. Januar 2015. Damit ist in dem hier zu betrachtenden Prognosejahr 2011 ein Übergangsbeurteilungswert für PM2.5 von ca. $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ einzuhalten, im Prognosejahr 2012 ein Übergangsbeurteilungswert von ca. $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und im Prognosejahr 2013 ein Übergangsbeurteilungswert von ca. $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

An den betrachteten Straßenabschnitten in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg wird sowohl im Referenzzustand als auch in den betrachteten Maßnahmefällen der jeweils geltende Übergangsbeurteilungswert und der ab dem Jahr 2015 geltende Grenzwert nicht überschritten. Durch die betrachteten Maßnahmen werden auch die PM2.5-Immissionen 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; durch die Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 sind die intensivsten Verringerungen zu erwarten.

5 LITERATUR

39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Luftqualitätsrichtlinie der EU durch Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV) und BImSchG – Änderung in deutsches Recht umgesetzt. Im Internet unter www.bmu.de
- Aviso (2011): Prognose der dynamischen KFZ-Flotte für Ludwigsburg für die Jahre 2011 bis 2013.
- Bächlin, W., Böisinger, R., Brandt, A., Schulz, T. (2006): Überprüfung des NO-NO₂-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.
- 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.
- Kolb, H. (1976): Vergleich verschiedener Methoden der Übertragung von Statistiken der Ausbreitungsverhältnisse in orographisch modifiziertem Gelände. In: Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B. 24, S. 57-68.

- Kutzner, K., Diekmann, H., Reichenbacher, W. (1995): Luftverschmutzung in Straßenschluchten - erste Messergebnisse nach der 23. BImSchV in Berlin. VDI-Bericht 1228, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- LUBW (2005-2010): Jahresbericht 2004 bis 2009 (auch im Internet). Hrsg.: UMEG Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg jetzt Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de>.
- LUBW (2005-2010): Spotmessungen 2004 bis 2009 – Darstellung der Messergebnisse. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Im Internet unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de.
- LUBW (2011): Immissionsmessdaten. Herausgeber: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Im Internet unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de.
- LUBW (Internet): Daten- und Kartendienst der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe. Im Internet unter <http://brsweb.lubw.baden-wuerttemberg.de> (abgerufen am 08.06.2011)
- 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., Böisinger, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO₂-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).
- TREMOT (2010): TREMOD – Transport Emission Model: Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030". Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3707 45 101, Version 5.1, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. 2010.

- UBA (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1/Febr. 2010. 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 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 NO₂ 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 Konzentrationen hat. Wesentliche Eingangsgrößen sind die Emissionen, die Bauungsstruktur, meteorologische Daten und die Vorbelastung.

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

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 entsprechender 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 Gesamtimmissionsbelastung geringer sind.

A1.4 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte

Die 39. BImSchV definiert u.a. als Kurzzeitgrenzwert für NO_2 einen Stundenmittelwert von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, der nur 18 mal im Jahr überschritten werden darf. Entsprechend einem einfachen praktikablen Ansatz basierend auf Auswertungen von Messdaten (Lohmeyer et al., 2000) kann abgeschätzt werden, dass dieser Grenzwert dann eingehalten ist, wenn der 98-Perzentilwert $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht überschreitet. Die genannte Spannweite, abgeleitet aus der Analyse von Messdaten verschiedener Messstellen, ist groß; die Interpretationen der Messdaten deuten darauf hin, dass bei einer Unterschreitung des 98-Perzentilwertes von $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= Äquivalentwert) der genannte Grenzwert für die maximalen Stundenwerte eingehalten wird.

Zur Ermittlung der in der 22. BImSchV definierten Anzahl von Überschreitungen eines Tagesmittelwertes der PM_{10} -Konzentrationen von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wird ein ähnliches Verfahren eingesetzt. Im Rahmen eines Forschungsprojektes für die Bundesanstalt für Straßenwesen wurde aus 914 Messdatensätzen aus den Jahren 1999 bis 2003 eine gute Korrelation zwischen der Anzahl der Tage mit PM_{10} -Tagesmittelwerten größer als $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und dem PM_{10} -Jahresmittelwert gefunden (**Abb. A1.1**). Daraus wurde eine funktionale Abhängigkeit der PM_{10} -Überschreitungshäufigkeit vom 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. A1.1** dargestellt.

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.

Im vorliegenden Gutachten wird wegen der Unsicherheiten bei der Berechnung der PM10-Emissionen sowie wegen der von Jahr zu Jahr an den Messstellen beobachteten meteorologisch bedingten Schwankungen der Überschreitungshäufigkeiten eine konservative Vorgehensweise gewählt. Dazu wird die in BAST (2005) angegebene „best fit“-Funktion um einen Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöht. Mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Grenzwert) werden mit diesem Ansatz für PM10-Jahresmittelwerte ab $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abgeleitet. Die Berechnung der Anzahl der Überschreitungstage basiert auf dieser in **Abb. A1.1** dargestellten Funktion. Dieser Ansatz stimmt mit dem vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen vorgeschlagenen Vorgehen überein (LUA NRW, 2006).

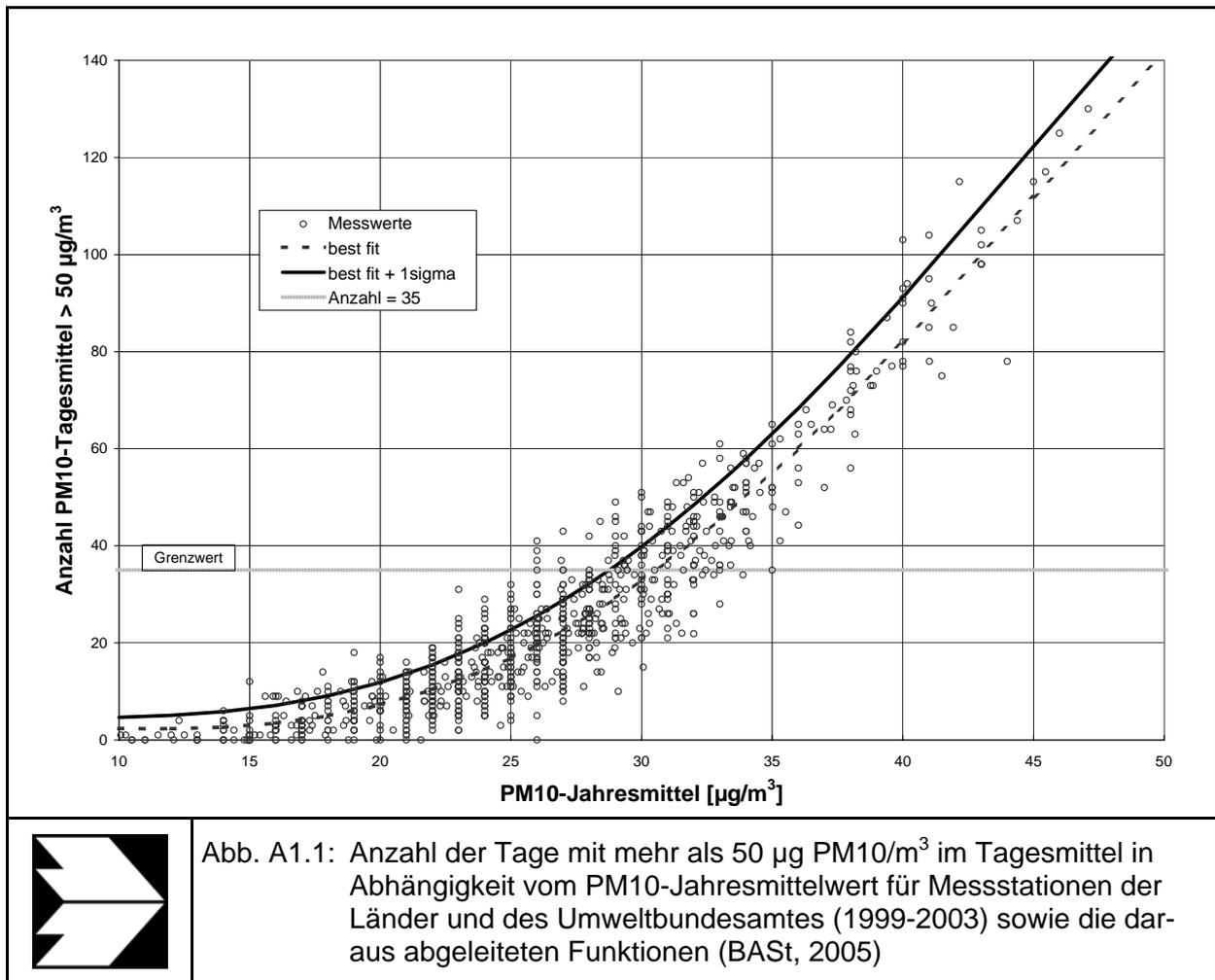


Abb. A1.1: Anzahl der Tage mit mehr als 50 µg PM10/m³ im Tagesmittel in Abhängigkeit vom PM10-Jahresmittelwert für Messstationen der Länder und des Umweltbundesamtes (1999-2003) sowie die daraus abgeleiteten Funktionen (BASt, 2005)

A N 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 Straßenmessstationen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. aufgeführt. Für den Nullfall 2011 und die Maßnahmen **M1** im Jahr 2011 sowie die Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 und **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 sind in **Abb. A2.1** bis **A2.4** die berechneten NO₂-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/m³, d.h. über dem ab 2010 gültigen NO₂-Grenzwert der 39. BImSchV, in gelben und roten Farben dargestellt. An stark frequentierten Straßenabschnitten sind teilweise weiterhin hohe NO₂-Belastungen prognostiziert, die bei entsprechenden Nutzungen zu Überschreitungen des Grenzwertes führen; die Anzahl der Streckenabschnitte bzw. die Länge der Bereiche mit Grenzwertüberschreitungen nimmt mit den Maßnahmen im Jahr 2013 deutlich ab.

In **Abb. A2.5** bis **A2.8** sind die berechneten PM₁₀-Jahresmittelwerte für den Nullfall 2011 und die Maßnahmen **M1** im Jahr 2011 sowie **M1 und M2 (Stufe 1 und 2)** im Jahr 2012 und **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 für alle betrachteten Hauptverkehrsstraßen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg a.N. aufgezeigt. In der Grafik sind Konzentrationswerte über 28 µg/m³, d.h. über dem PM₁₀-Schwellenwert zur Ableitung der Kurzzeitbelastung der 39. BImSchV, in gelben und roten Farben dargestellt. An allen gelb bis rot gekennzeichneten Straßenabschnitten kann bei entsprechenden Nutzungen als Beurteilung eine Überschreitung des PM₁₀-Kurzzeitbelastungswertes interpretiert werden. Eine Überschreitung des Grenzwertes für das PM₁₀-Jahresmittel ist an den Hauptverkehrsstraßen in Pleidelsheim, Ingersheim und Freiberg nicht zu erwarten. Mit den Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 3) im Jahr 2013 ist die Einhaltung des Kurzzeitwertes für PM₁₀ mit Ausnahme eines kurzen Streckenabschnittes in Ingersheim im gesamten Untersuchungsgebiet zu erwarten.

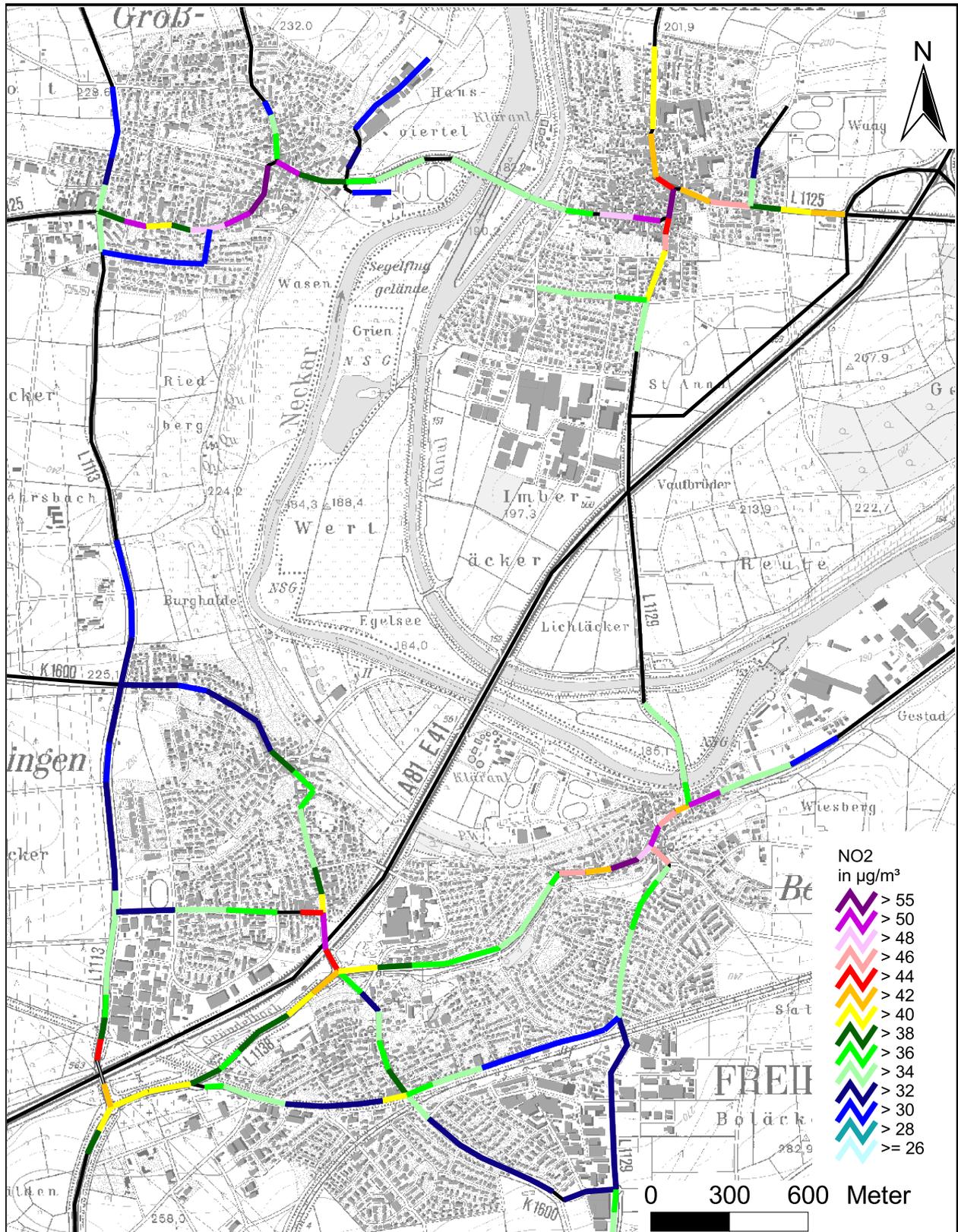


Abb. A2.1: NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Nullfall im Jahr 2011

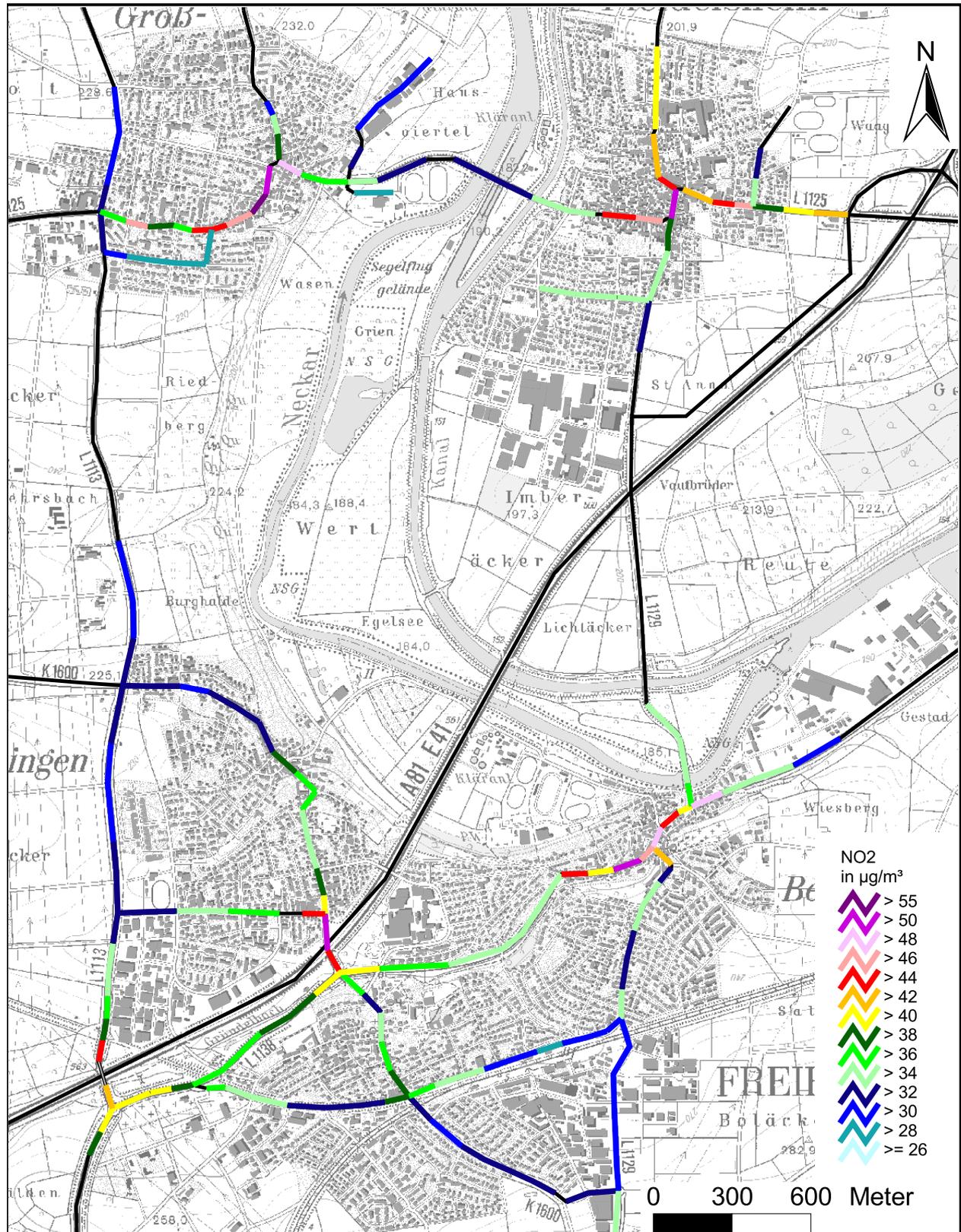


Abb. A2.2: NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Maßnahmefall M1 im Jahr 2011

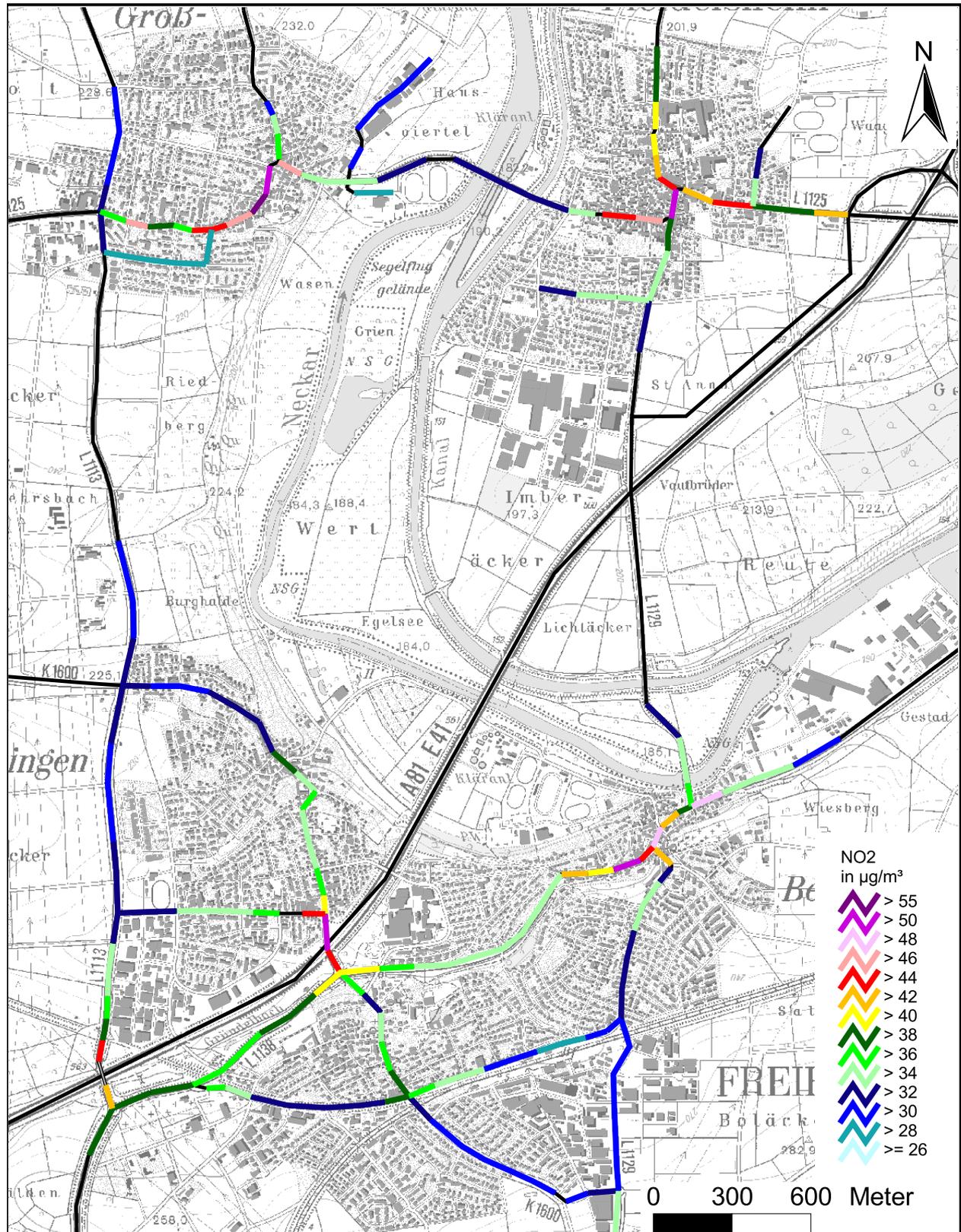


Abb. A2.3: NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Maßnahmefall M1 und M2 (Stufe 1 und Stufe 2) im Jahr 2012

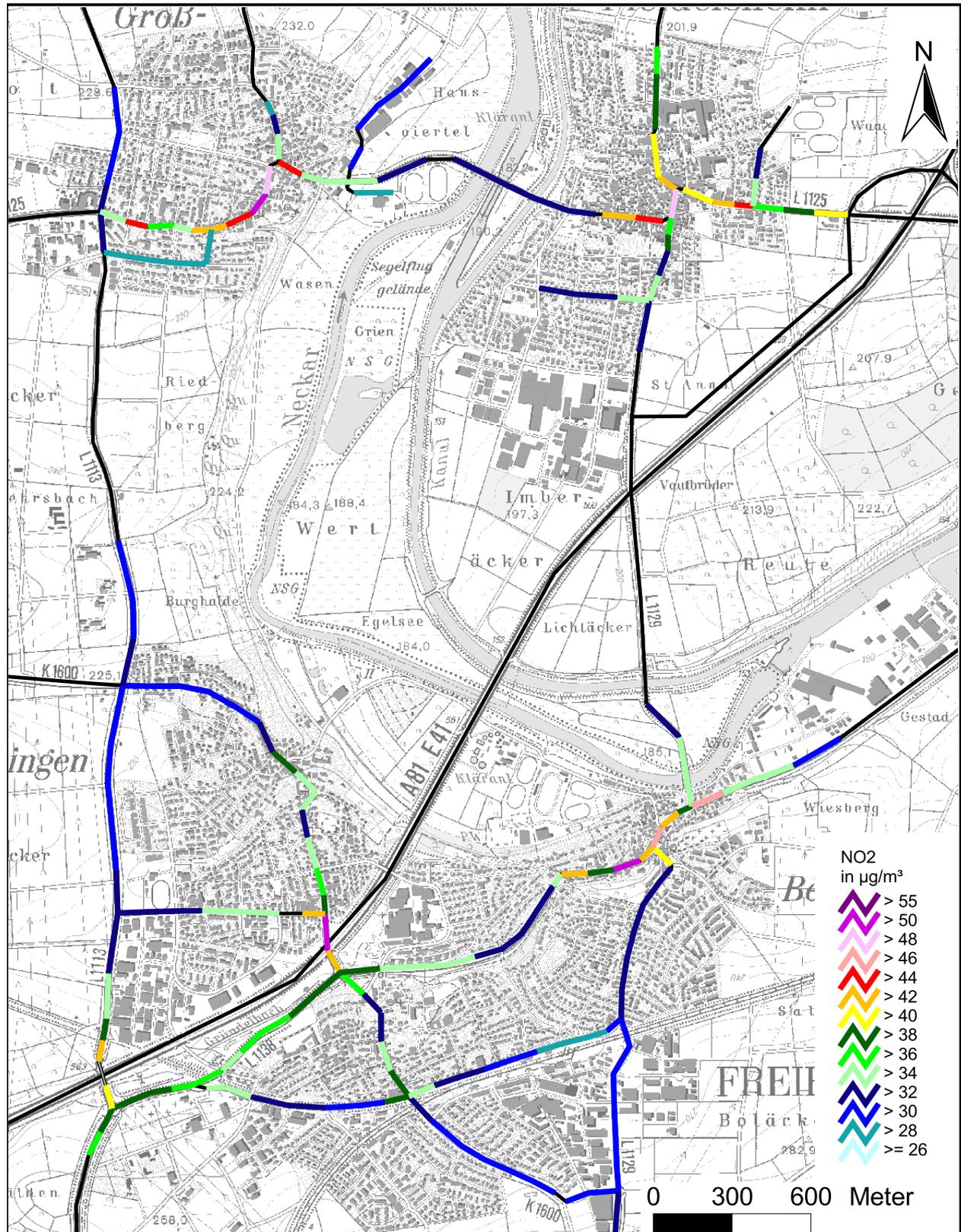


Abb. A2.4: NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Maßnahmefall M1 und M2 (Stufe 3) im Jahr 2013

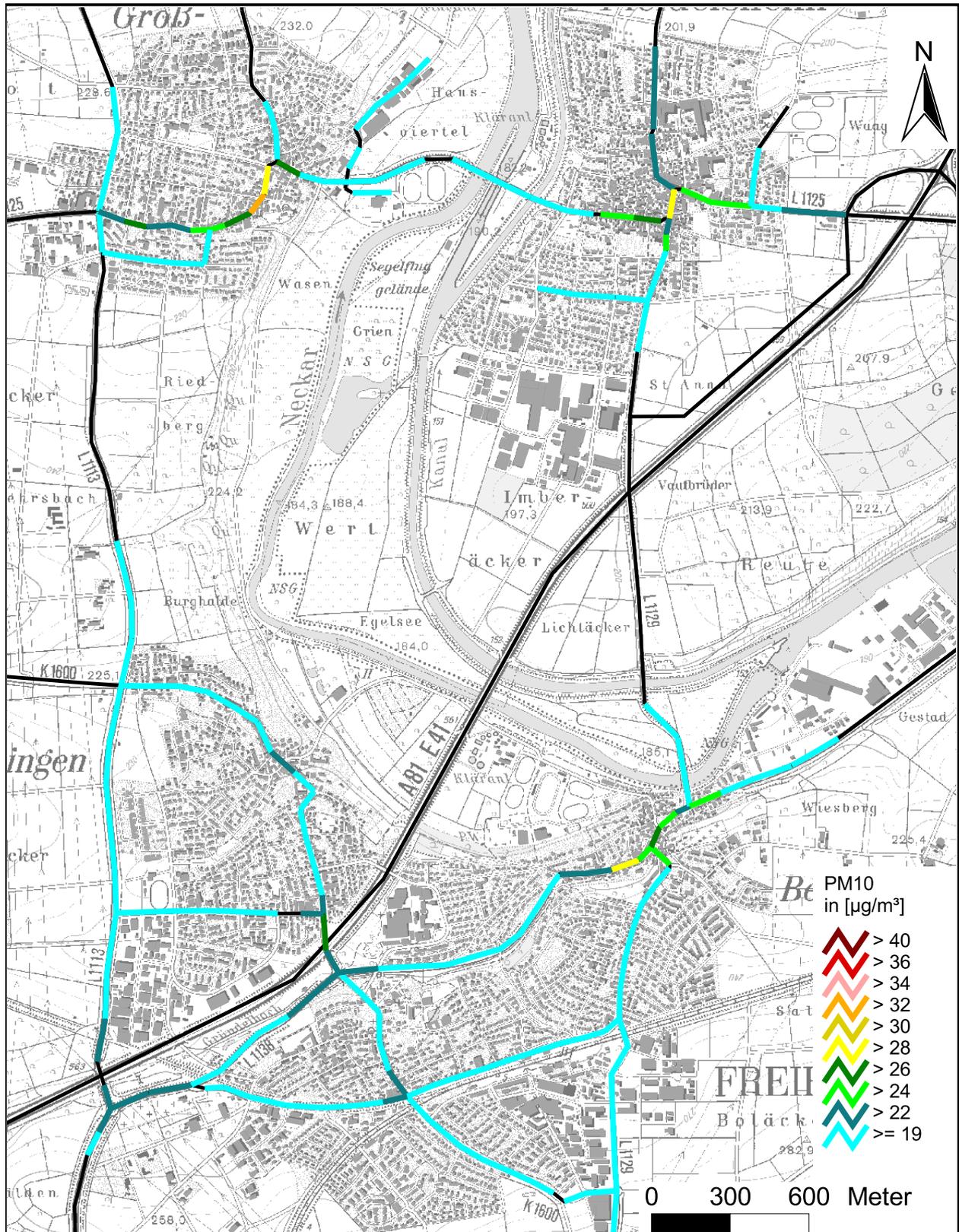


Abb. A2.5: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Nullfall im Jahr 2011

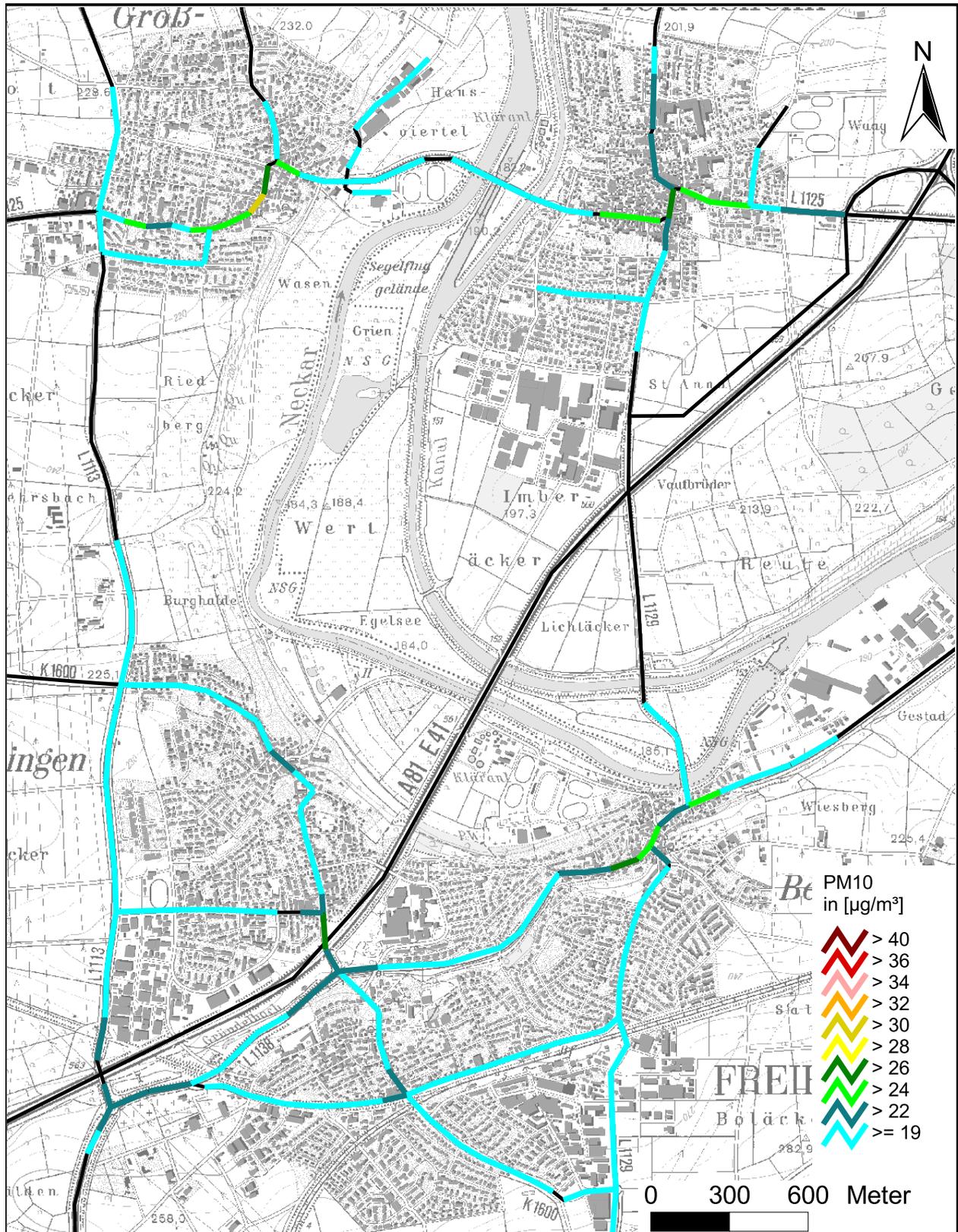


Abb. A2.6: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Maßnahmefall M1 im Jahr 2011

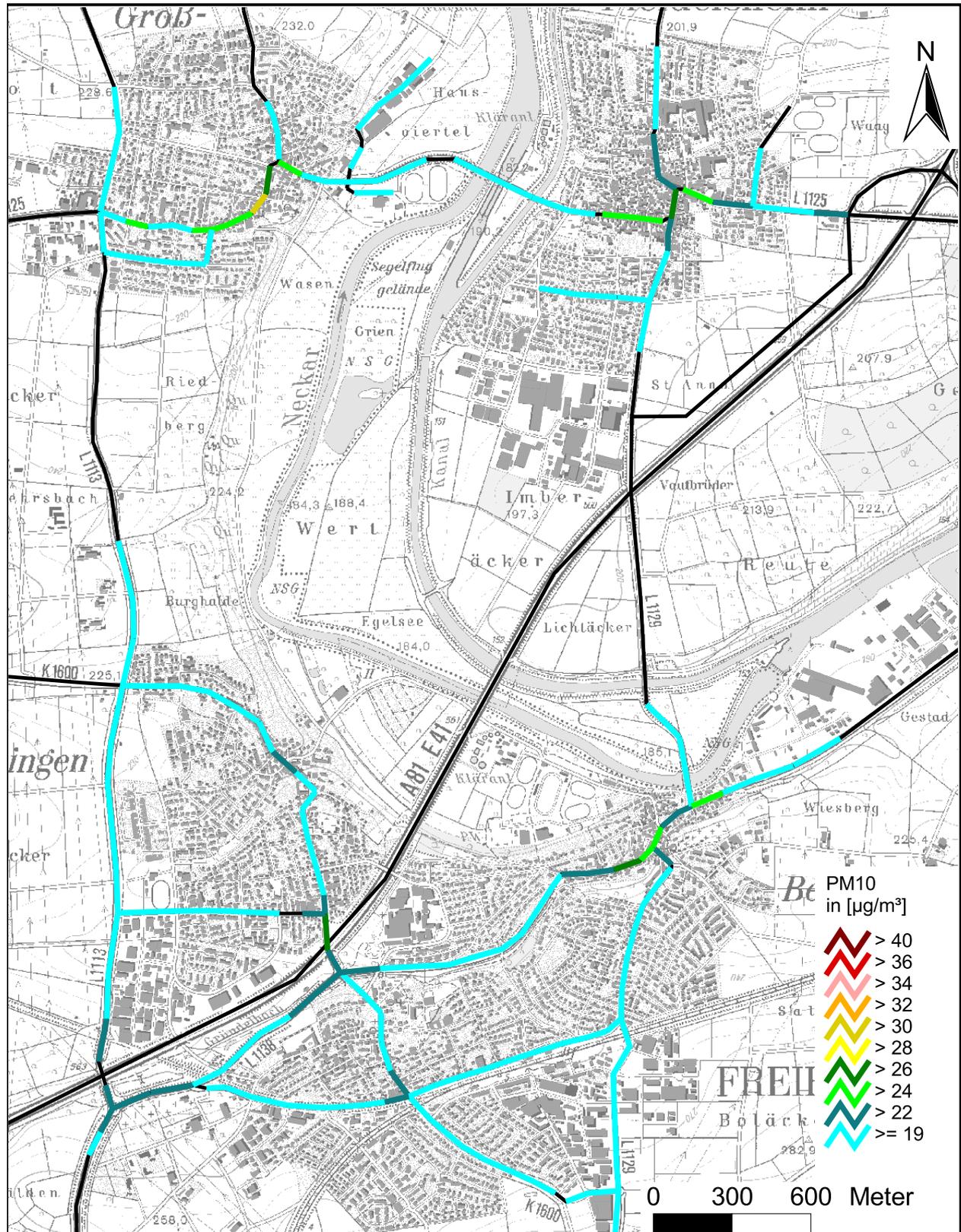


Abb. A2.7: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Maßnahmefall M1 und M2 (Stufe 1 und Stufe 2) im Jahr 2012

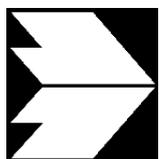
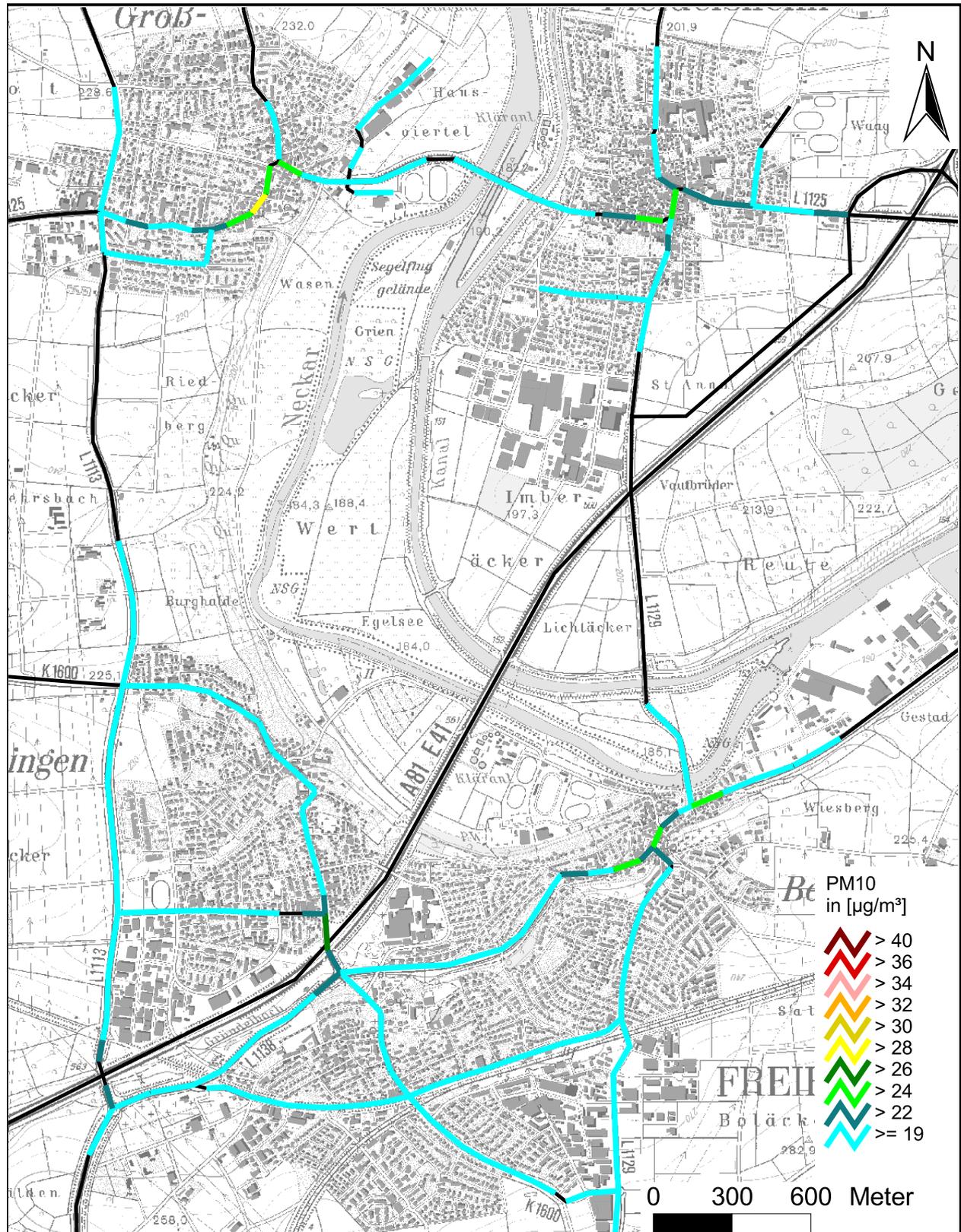


Abb. A2.8: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Maßnahmefall M1 und M2 (Stufe 3) im Jahr 2013