



**Ingenieurbüro Lohmeyer  
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,  
Aerodynamik, Umweltsoftware**

An der Roßweid 3, D-76229 Karlsruhe

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

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

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

**Messstelle nach §§ 26, 28 BImSchG**

## **BERECHNUNG DER IMMISSIONS- SEITIGEN AUSWIRKUNGEN VON VERKEHRLICHEN MASSNAHMEN DES LUFTREINHALTEPLANS FÜR LEONBERG**

Auftraggeber: Regierungspräsidium Stuttgart  
Referat 54.1  
Ruppmannstr. 21  
70565 Stuttgart

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

Dr.-Ing. W. Bächlin

Juni 2011  
Projekt 61920-11-01  
Berichtsumfang 49 Seiten

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN .....</b>	<b>1</b>
<b>1 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>4</b>
<b>2 AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>6</b>
<b>3 EINGANGSDATEN UND EMISSIONSFAKTOREN.....</b>	<b>7</b>
3.1 Lagedaten.....	7
3.2 Verkehr .....	7
3.3 Fahrzeugflotte.....	9
3.4 Emissionsfaktoren .....	15
3.4.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren .....	16
3.4.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren .....	16
3.4.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen .....	17
3.5 Meteorologische Daten.....	19
<b>4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN .....</b>	<b>22</b>
4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte.....	22
4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen.....	24
<b>5 LITERATUR .....</b>	<b>29</b>
<b>A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION.....</b>	<b>33</b>
<b>A2 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSEN- NETZ .....</b>	<b>41</b>

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  $\mu\text{g}$  (oder  $\text{mg}$ ) Schadstoff pro  $\text{m}^3$  Luft ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$  oder  $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

### **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  $\text{mg}/\text{m}^3$  angegeben.

### **Grenzwerte / Vorsorgewerte**

Grenzwerte sind zum Schutz der menschlichen Gesundheit vom Gesetzgeber vorgeschriebene Beurteilungswerte für Luftschadstoffkonzentrationen, die nicht überschritten werden dürfen, siehe z.B. 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 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 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 größenselektierenden 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 Verbrennungsvorgänge und Sekundärpartikel.

**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>Euro 6</b>
<b>PKW</b>	<b>Jahr</b>	<b>1993</b>	<b>1996/97</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2009</b>	<b>2014</b>
	Partikel [g/km]	0.14	0.08	0.05	0.025	0,005	0,005
	<b>Jahr</b>	<b>1992</b>	<b>1996</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2009</b>	<b>2014</b>
	NO <sub>x</sub> Diesel [g/km]	-	-	0.50	0.25	0,18	0,08
	NO <sub>x</sub> Benzin [g/km]	-	-	0.15	0.08	0,06	0,06
<b>LKW</b>	<b>Jahr</b>	<b>1992/93</b>	<b>1995/96</b>	<b>2000/01</b>	<b>2005</b>	<b>2008</b>	<b>2012</b>
	Partikel [g/kWh]	0.4	0.15	0.10	0.02	0.02	0.01
	<b>Jahr</b>	<b>1992</b>	<b>1998</b>	<b>2000</b>	<b>2005</b>	<b>2008</b>	<b>2012</b>
	NO <sub>x</sub> [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.

<b>Schadstoff</b>	<b>Beurteilungswert</b>	<b>Zahlenwert in µg/m<sup>3</sup></b>	
		<b>Jahresmittel</b>	<b>Kurzzeit</b>
NO <sub>2</sub>	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 Leonberg besteht seit August 2006 ein 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 Leonberg ab dem 01.10.2011.

**M2 (Stufe 2):** Ganzjähriges Fahrverbot im Gebiet der Umweltzone von Leonberg ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung, d.h. Fahrzeuge mit grüner und gelber Plakette frei (bestehende Maßnahme).

**M2 (Stufe 3):** Ganzjähriges Fahrverbot im Gebiet der Umweltzone von Leonberg ab dem 01.01.2013 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1, 2 und 3 nach der Kennzeichnungsverordnung, d.h. Fahrzeuge mit grüner Plakette frei (neue Maßnahme).

Als Referenzzustand (Nullfall 2011, Trendfälle 2012 bzw. 2013) wird in Leonberg die derzeitige Regelung mit Umweltzone Stufe 1 (d.h. Fahrzeuge mit grüner, gelber und roter Plakette frei) mit den in den Jahren 2011, 2012 und 2013 zu erwartenden Fahrzeugflotten angesetzt.

Für die Hauptverkehrsstraßen in Leonberg werden die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen berechnet. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes von Leonberg und Umgebung werden unter Berücksichtigung des 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 Auspuff-Emissionen und darauf basierend der Immissionen gegenüber dem Referenzfall 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 den Straßenabschnitt der Grabenstraße, an dem eine verkehrsnah Luftmessstation betrieben wird.

Für die NO<sub>x</sub>-Emissionen sind an der Grabenstraße gegenüber dem Nullfall mit der Maßnahme M1 2011 ca. 91% der Emissionen zu erwarten. Mit den Maßnahmen M1 + M2 (Stufe 2)

nehmen die NO<sub>x</sub>-Emissionen im Jahr 2012 bis auf 84% des Nullfalls 2011 ab und mit den Maßnahmen M1 + M2 (Stufe 3) nehmen die NO<sub>x</sub>-Emissionen im Jahr 2013 bis auf 73% des Nullfalls 2011 ab. Ohne Maßnahmen würden im Jahr 2012 die Emissionen durch die natürliche Flottenerneuerung auf ca. 95% des Nullfalls 2011 abnehmen und im Jahr 2013 auf ca. 90%.

Die PM10-Emissionen weisen an der Grabenstraße gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2011, mit der Maßnahme M1 2011 ca. 92%, mit den Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 2) im Jahr 2012 ca. 84% und mit den Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 3) im Jahr 2013 ca. 76% der PM10-Emissionen auf. Ohne Maßnahmen würden im Jahr 2012 die Emissionen auf ca. 96% des Nullfalls 2011 abnehmen und im Jahr 2013 auf ca. 92%.

Mit den an der Messstelle in Leonberg verringerten Emissionen sind auch verringerte Immissionen prognostiziert. An der Grabenstraße weisen die NO<sub>2</sub>-Belastungen gegenüber dem Nullfall 2011 mit der Maßnahme M1 im Jahr 2011 ca. 95%, mit den Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 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 2012 sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten NO<sub>2</sub>-Beiträge bis ca. 97% und bis zum Jahr 2013 ca. 94% des Nullfalls zu erwarten.

Die prognostizierten PM10-Immissionen weisen an der Grabenstraße gegenüber dem Nullfall 2011 mit der Maßnahme M1 im Jahr 2011 ca. 97%, im Jahr 2012 mit den Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 2) ca. 94% und im Jahr 2013 mit den Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 3) ca. 90% der Gesamtbelastungen auf. Mit der natürlichen Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten PM10-Beiträge bis ca. 98% und bis zum Jahr 2013 ca. 97% des Nullfalls zu erwarten.

Aus den berechneten PM10-Jahresmittelwerten an Hauptverkehrsstraßen in Leonberg werden mehr als 35 Überschreitungstage eines Tagesmittelwertes von 50 µg/m<sup>3</sup> (Grenzwert) ab PM10-Jahresmittelwerten von 29 µg/m<sup>3</sup> abgeleitet. Danach ist im Bereich der Grabenstraße eine Überschreitung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes abgeleitet.

Die Maßnahmen mit dem LKW-Durchfahrtsverbot und der Umweltzone Stufe 3 führen zu einem geringeren Schwerverkehrsanteil und zu einer beschleunigten Flottenumstellung, die sich mindernd auf die verkehrsbedingten Emissionen und Immissionen auswirken. Die intensivsten Reduktionen der Emissionen und Immissionen sind an den Straßenabschnitten der Grabenstraße durch die Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 3) im Jahr 2013 zu erwarten.

## 2 AUFGABENSTELLUNG

Für die Stadt Leonberg besteht 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 NO<sub>2</sub> und PM10. Folgende Maßnahmen werden betrachtet:

**M1:** LKW-Durchfahrtsverbot in Leonberg ab dem 01.10.2011.

**M2 (Stufe 2):** Ganzjähriges Fahrverbot im Gebiet der Umweltzone von Leonberg ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung, d.h. Fahrzeuge mit grüner und gelber Plakette frei (bestehende Maßnahme).

**M2 (Stufe 3):** Ganzjähriges Fahrverbot im Gebiet der Umweltzone von Leonberg ab dem 01.01.2013 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1, 2 und 3 nach der Kennzeichnungsverordnung, d.h. Fahrzeuge mit grüner Plakette frei (neue Maßnahme).

Als Referenzzustand (Nullfall 2011, Trendfälle 2012 bzw. 2013) wird in Leonberg die derzeitige Regelung mit Umweltzone Stufe 1 (d.h. Fahrzeuge mit grüner, gelber und roter Plakette frei) mit den in den Jahren 2011, 2012 und 2013 zu erwartenden Fahrzeugflotten angesetzt.

Für die Hauptverkehrsstraßen in Leonberg sind die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen zu berechnen. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes von Leonberg und Umgebung sind unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1 und mit der aktuellen Erkenntnis bezüglich Anteilen von Abrieb und Aufwirbelung an PM10 die Änderungen der Emissionen und darauf basierend der Immissionen gegenüber dem Referenzfall aufzuzeigen. Die Neuberechnung der Maßnahme M2 (Stufe 2) ist aufgrund des aktualisierten HBEFA erforderlich.

### 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 Stadt Leonberg liegt im westlichen Bereich des Ballungsgebietes der Region Stuttgart im Übergangsbereich des Glemswaldes zum Strohgäu. Der überwiegende Bereich der Siedlungsfläche ist in den durch das Glemstal geprägten niederen Bereichen gelegen. Das Relief steigt nach Nordosten zum Engelberg und zur Gerlinger Heide an. Das Stadtgebiet wird von der Bundesstraße B 295 in nord-südlicher Richtung durchquert. Überregionale Verkehrsströme verlaufen über die Autobahnen A 8 und A 81, die das Stadtgebiet von Leonberg im Süden und Osten tangieren bzw. durchfahren.

Die Lage des Betrachtungsgebietes mit dem Stadtgebiet von Leonberg ist in **Abb. 3.1** aufgezeigt. In den Plan ist auch die Lage des bestehenden Engelbergtunnels im Zuge der A 81 eingetragen und das Gebiet der bestehenden Umweltzonen. Die Lage der Messpunkte der SPOT-Messstelle an der Grabenstraße ist mit roten Punkten markiert.

#### 3.2 Verkehr

Für die Betrachtungen der verkehrsbedingten Maßnahmen zum Luftreinhalteplan Leonberg wurden Verkehrsbelegungsdaten durch den Auftraggeber zur Verfügung gestellt. Dies sind aktuelle Verkehrsumlegungsdaten der Universität Stuttgart (2011), die insbesondere hinsichtlich des LKW-Durchfahrverbotes in Leonberg ermittelt wurden. Das sind für das Plangebiet mit direkter Umgebung Angaben der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV) und des LKW-Anteils. Aus vorangegangenen Untersuchungen stehen weitere Verkehrsbelegungsdaten für das Stadtgebiet von Leonberg (Planungsgruppe Kölz, 2007) mit Angaben der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke und des LKW-Anteils zu Verfügung.

Die räumliche Auflösung innerstädtisch ist bei den Daten der Planungsgruppe Kölz deutlich höher. Daher werden diese Daten für die innerstädtischen Bereiche und die Daten der Universität Stuttgart für die außerstädtischen 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 innerstädtischen Streckenabschnitte übertragen.

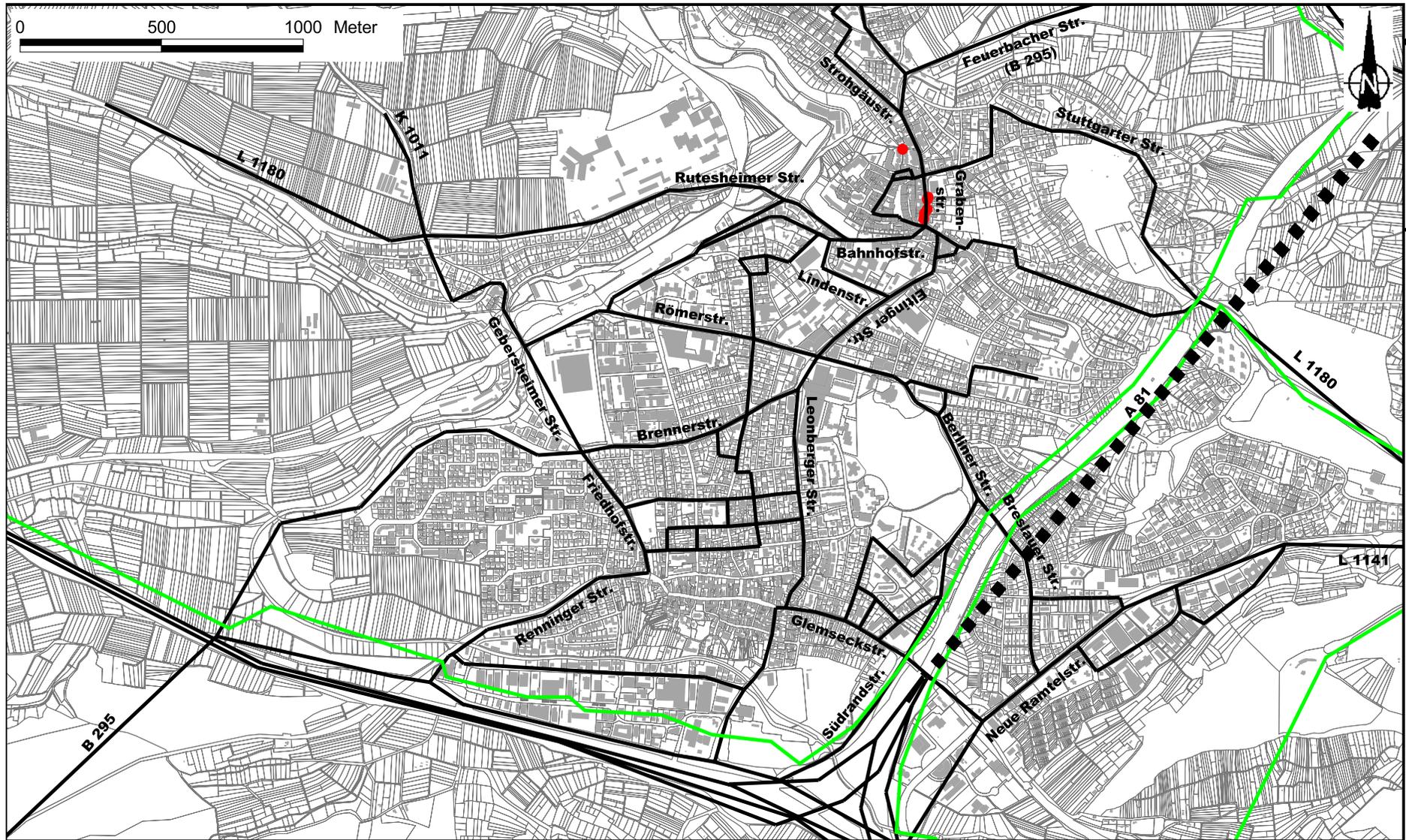


Abb. 3.1: Lageplan des Untersuchungsgebietes mit Standorten der Messstationen.  
 Die Straßen sind schwarz und der bestehende Engelbergtunnel im Zuge der A 81 schwarzgestrichelt eingezeichnet.  
 Die Messpunkte sind rot und die Umweltzonen grün umrandet dargestellt

Gegenüber der vorangegangenen Wirkungsanalyse vom Juli 2006 werden auf der Grundlage der oben genannten Daten aktualisierte Verkehrsbelegungen angesetzt. Die Verkehrsbelegungsdaten sind in den **Abb. 3.2** und **Abb. 3.3** aufgezeigt.

Für die zu betrachtenden Maßnahmen **M2 (Stufe 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.

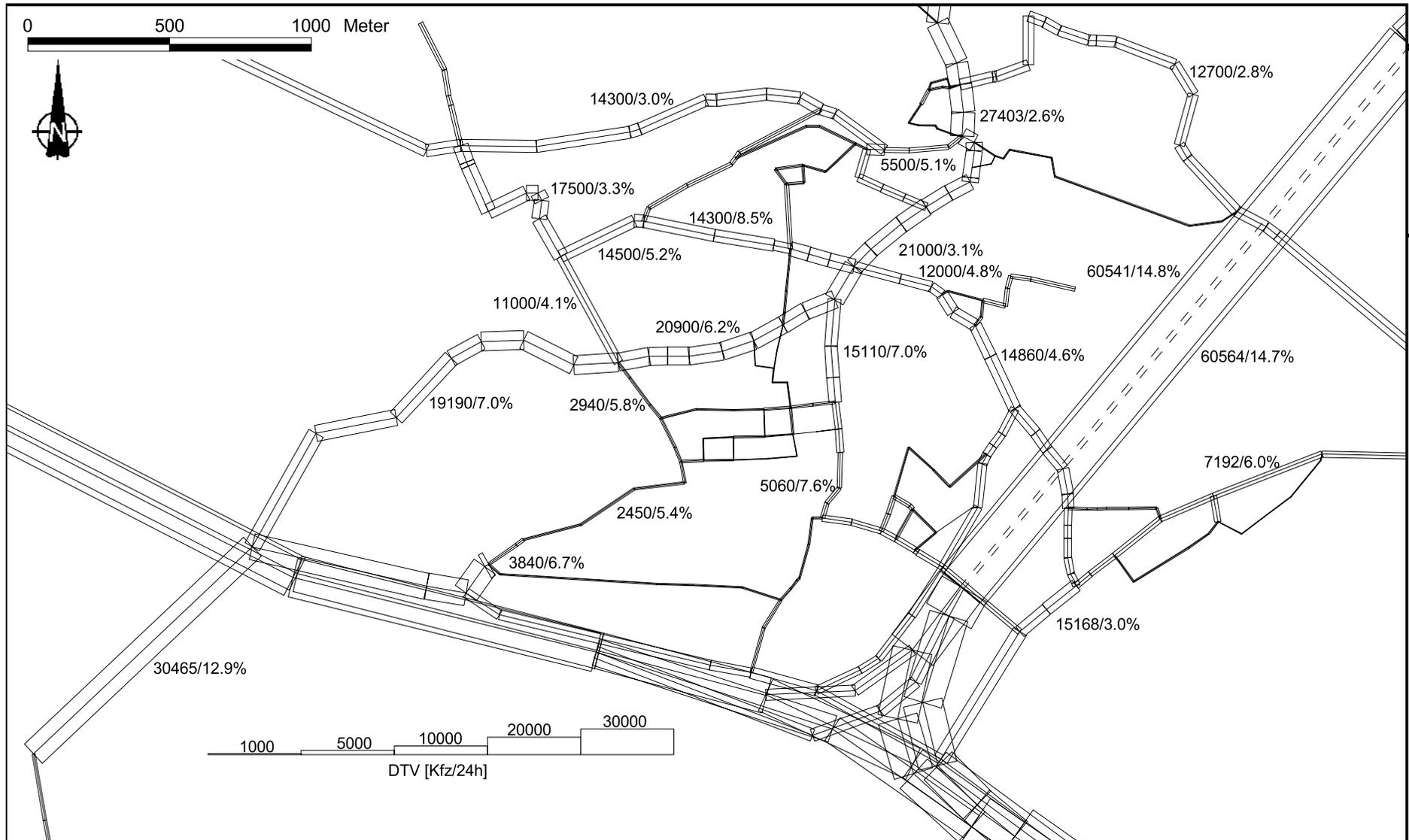
In Leonberg wurden in den letzten Jahren an der Grabenstraße Immissionsmessungen durchgeführt. Für den Standort der SPOT-Messstation und den entsprechenden Straßenabschnitt sind die Verkehrsbelegungsdaten ausgedrückt als Anzahl der Fahrzeuge pro Tag in **Abb. 3.4** aufgezeigt. Die Angabe der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) beinhaltet alle Kfz; ergänzend ist die durchschnittliche tägliche Anzahl der LKW-Fahrten aufgeführt.

### 3.3 Fahrzeugflotte

Die Zusammensetzung der dynamischen Fahrzeugflotten, d.h. die Zusammensetzung der auf den Straßen verkehrenden Fahrzeuge, sind für innerstädtische Bereiche der dynamischen Flottenzusammensetzung für Baden-Württemberg (Aviso, 2009) 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. 38%, im Jahr 2012 ca. 39% und im Jahr 2013 ca. 41%; der Anteil der dieselbetriebenen leichten Nutzfahrzeugfahrten umfasst in allen drei Bezugsjahren 2011, 2012 und 2013 ca. 96%; bei den Bussen und schweren Nutzfahrzeugen setzen sich die Fahrten ausschließlich aus dieselbetriebenen zusammen.

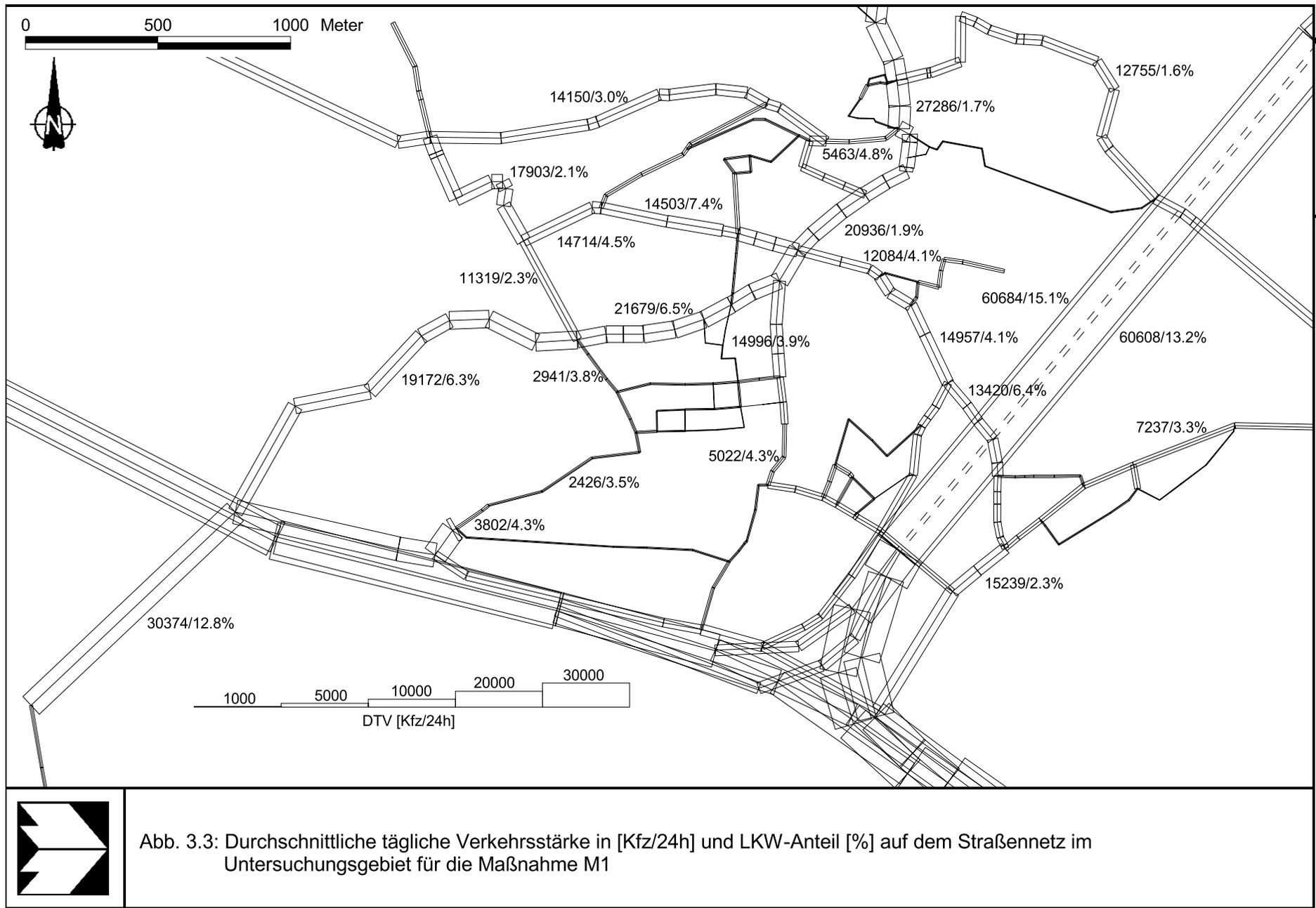
Für die Maßnahmen **M2 (Stufe 2)** und **M2 (Stufe 3)** sowie für den Nullfall 2011 und die Trendfälle 2012 und 2013 werden die in der Datengrundlage beschriebenen Zusammensetzungen der Fahrzeugflotten verändert, indem die vom Fahrverbot betroffenen Fahrzeugarten aus der Fahrzeugflotte ausgeschlossen 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.



Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG

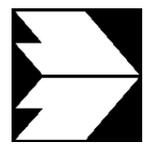


Abb. 3.2: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in [Kfz/24h] und LKW-Anteil [%] auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für den Nullfall



Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG

Abb. 3.3: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in [Kfz/24h] und LKW-Anteil [%] auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für die Maßnahme M1



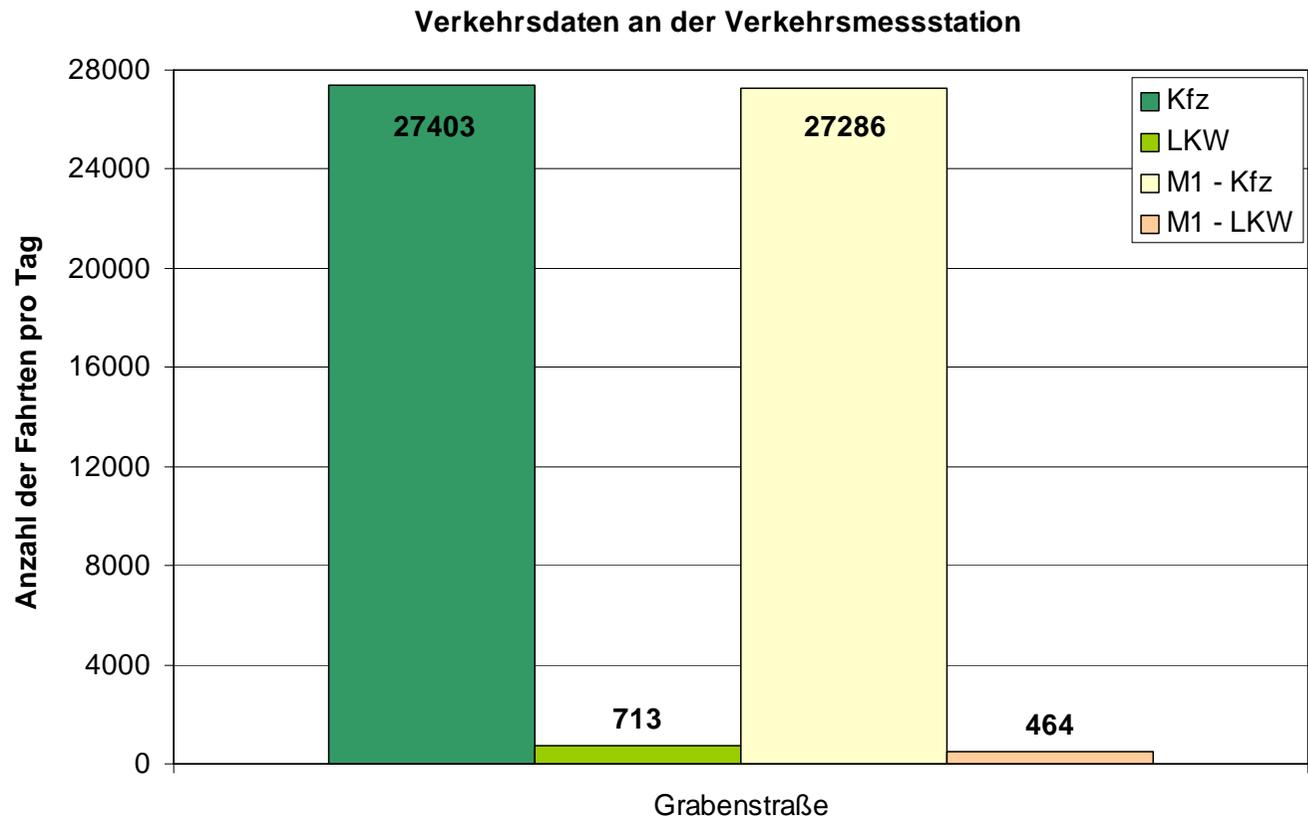


Abb. 3.4: Verkehrsbelegung an der Grabenstraße in Leonberg für den Nullfall und die betrachtete Maßnahme (LKW-Durchfahrtsverbot)

### Dynamische Fahrzeugflotte innerorts

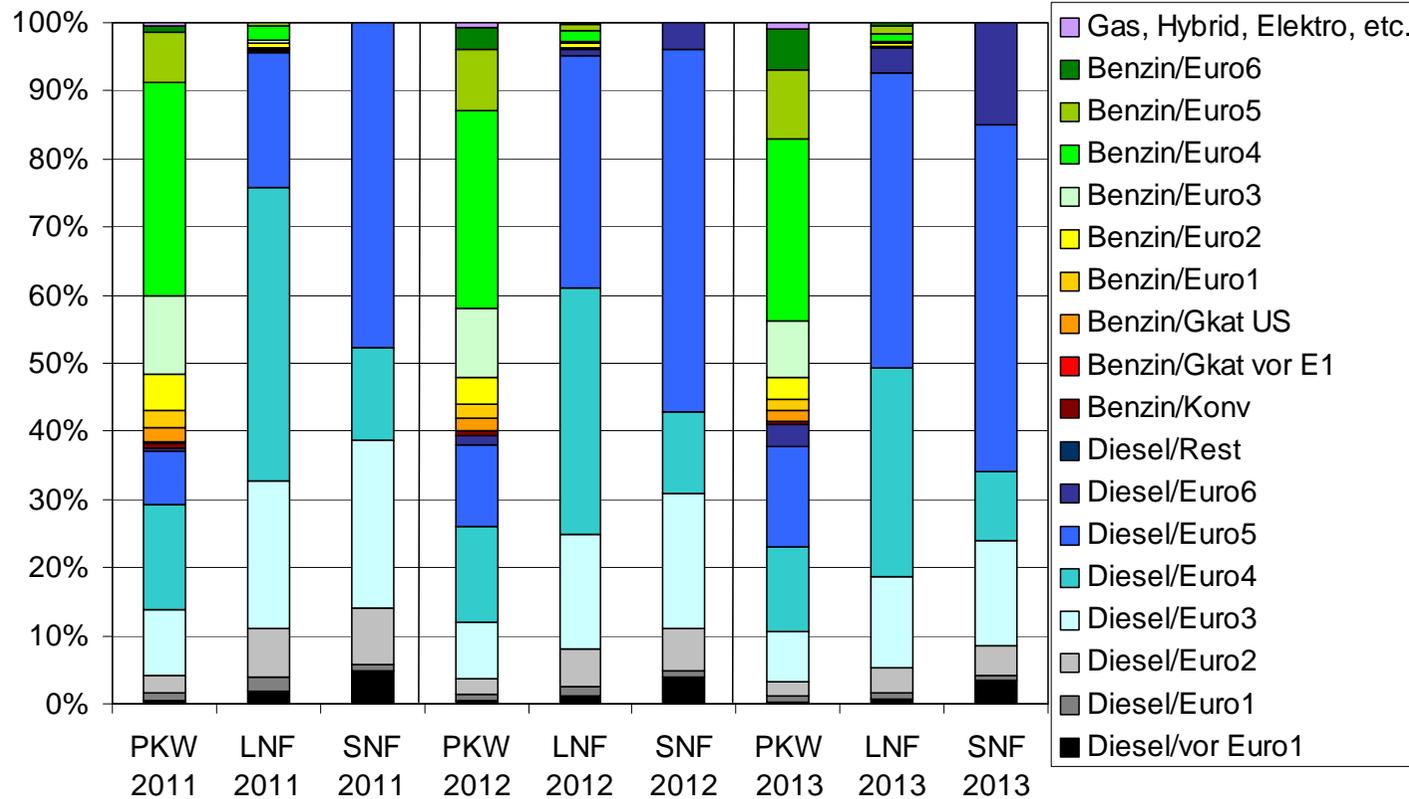


Abb. 3.5: Zusammensetzung der dynamischen Kfz-Flotte für die Jahre 2011, 2012 und 2013 unterteilt nach PKW, leichte Nutzfahrzeuge (LNF) sowie Reisebusse, Linienbusse und schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

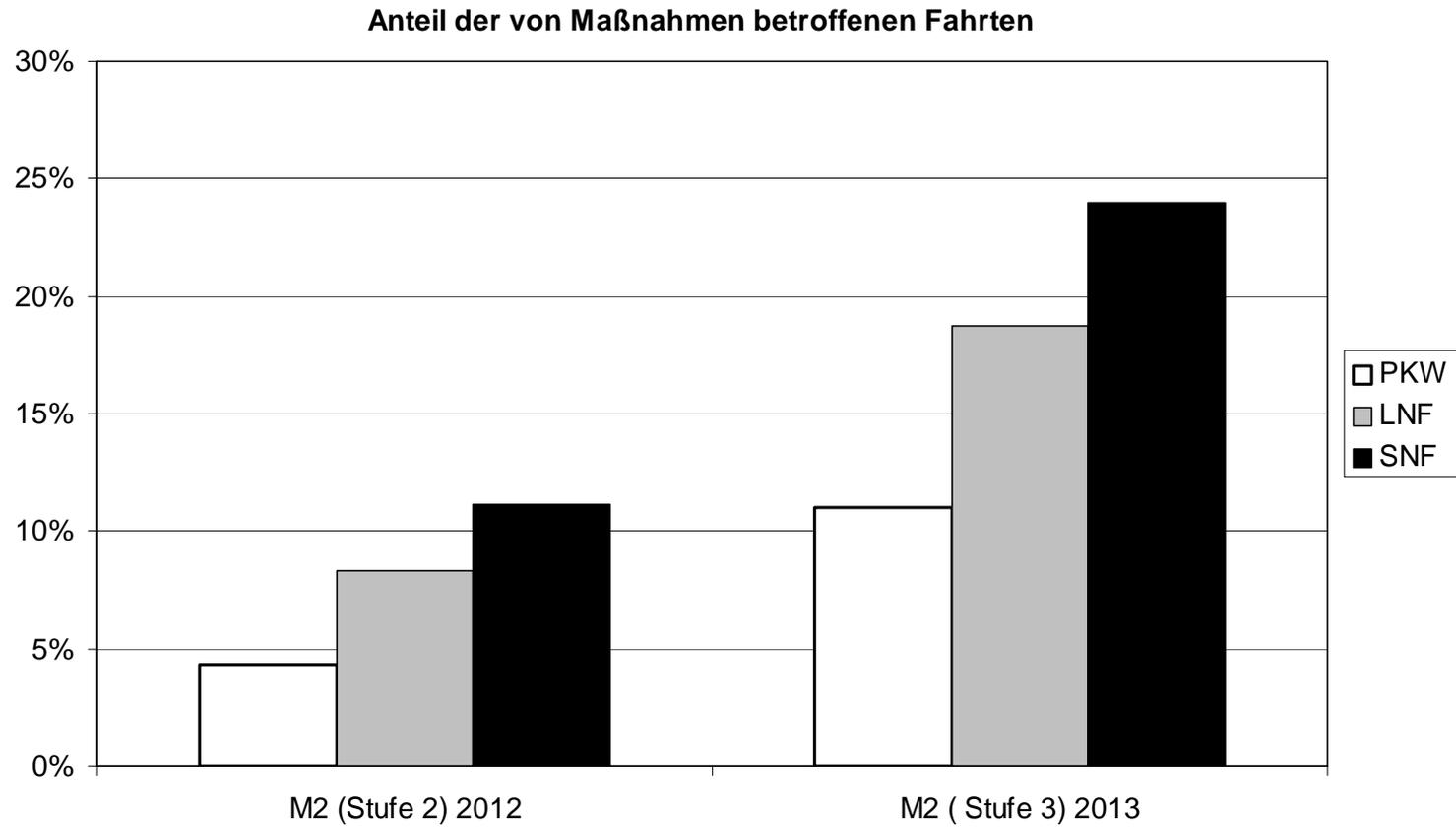


Abb. 3.6: Anteil der von den Fahrverboten betroffenen Fahrten in den beiden Maßnahmen M2 (Stufe 2) und M2 (Stufe 3) getrennt für PKW, Lieferwagen (LNF), sowie LKW und Busse (SNF)

Von den PKW-Fahrten sind im Jahr 2012 durch die Maßnahme **M2 (Stufe 2)**, Umweltzone Stufe 2 ca. 4% der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 8% der Lieferwagenfahrten und ca. 11% 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. Hier kann angenommen werden, dass diese Fahrten zum Teil durch Fahrten mit Fahrzeugen ersetzt werden, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind oder ganz entfallen. Aufgrund des geringen Anteils der möglicherweise entfallenden Fahrten wurde keine erneute Verkehrsumlegung durchgeführt. Für den PKW-Verkehr wird ebenfalls rechnerisch eine Änderung der Fahrzeugflotte durchgeführt.

Gegenüber der Regelung ohne Umweltzone sind von den PKW-Fahrten im Jahr 2013 durch die Maßnahme **M2 (Stufe 3)**, Umweltzone Stufe 3, ca. 11% der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 19% der Lieferwagenfahrten und ca. 24% 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 PM<sub>10</sub>-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** exemplarisch für die innerstädtische Verkehrssituation an der verkehrsnahen Messstelle in Leonberg 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 sowie für die Maßnahmen **M2 (Stufe 2) 2012** und **M2 (Stufe 3) 2013** werden die Emissionsfaktoren gegenüber dem Fall ohne Umweltzone 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<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren aber leicht höhere Minde-

rungen 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 der verkehrsnahen SPOT-Messstelle in Leonberg angesetzte Verkehrssituation ist in den **Tab. 3.1** bis **Tab. 3.3** aufgeführt, klassifiziert wie im HBEFA (UBA, 2010) für Längsneigungsklassen in 2%-Stufen (Gekennzeichnet durch Unterstrich und Längsneigungsklasse). Mit dieser Tabelle ist ein Überblick über die zu dieser Verkehrssituationen gehörenden Emissionsfaktoren in den zu betrachtenden Bezugsjahren gegeben. Es wird folgende Verkehrssituation herangezogen:

IOSK-HVS50g: Innerörtliche Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, Lichtsignalanlage

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2011					
	NO <sub>x</sub>		PM10 (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
S1- <u>IOSK-HVS50g_6</u>	0.527	7.106	0.035	0.5	0.0194	0.1145

Tab. 3.1: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an der verkehrsnahen Messstelle für das Bezugsjahr 2011 nach HBEFA unter Berücksichtigung der Flottenzusammensetzung für Baden-Württemberg für den Referenzfall 2011 (Umweltzone Stufe 1 (S1))

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2012					
	NO <sub>x</sub>		PM10 (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
S1- <u>IOSK-HVS50g_6</u>	0.508	6.451	0.035	0.5	0.0166	0.0984
S2- <u>IOSK-HVS50g_6</u>	0.496	6.149	0.035	0.5	0.0141	0.0905

Tab. 3.2: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an der verkehrsnahen Messstelle für das Bezugsjahr 2012 nach HBEFA unter Berücksichtigung der Flottenzusammensetzung für Baden-Württemberg für den Trendfall 2012 (Umweltzone Stufe 1 (S1)) und für die Maßnahme M2 Stufe 2 (S2).

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2013					
	NO <sub>x</sub>		PM10 (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
S1-IOSK-HVS50g_6	0.493	5.735	0.035	0.5	0.0146	0.0837
S3-IOSK-HVS50g_6	0.443	4.730	0.035	0.5	0.0091	0.0548

Tab. 3.3: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an der verkehrsnahen Messstelle für das Bezugsjahr 2013 nach HBEFA unter Berücksichtigung der Flottenzusammensetzung für Baden-Württemberg für den Trendfall 2013 (Umweltzone Stufe 1 (S1)) und für die Maßnahme M2 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 das Stadtgebiet von Leonberg liegen Windmessdaten vor, die im Rahmen der klimaökologischen Analyse (Ökoplana, 1993) erhoben wurden. Mehrjährige Messreihen für die Jahre 1989 bis 1992 liegen für die über dem Stadtgebiet gelegene Station „Engelberg“ und die städtische Station „Feuerwehr“ in der Stadtverwaltung Leonberg vor.

Die Station „Feuerwehr“ liegt innerhalb des Stadtgebietes von Leonberg am Rand des Stadtparks und ca. 600 m südlich des Plangebietes. Die Windrose ist in **Abb. 3.7** (oben) dargestellt. Die Hauptwindrichtung wird durch südwestliche bis südliche Winde geprägt, als häufige Nebenwindrichtungen wurden nordöstliche sowie nordwestliche Winde erfasst. Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit beträgt für den gesamten Erfassungszeitraum ca. 2.7 m/s.

Im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) wurden synthetische Windrosen im 500 m Raster für Baden-Württemberg berechnet und im Internet veröffentlicht (LUBW, Internet). Für den Standort „Feuerwehr“ in Leonberg ist diese Windrose in **Abb. 3.7** (unten) aufgezeigt und zeigt eine gute Übereinstimmung mit den Messdaten. Die Hauptwindrichtung wird durch südwestliche bis südliche Winde geprägt, als häufige Nebenwindrichtungen sind nordöstliche bis nördliche Winde ermittelt. Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit wird unter Berücksichtigung der städtischen Bebauung mit ca. 2. m/s angegeben.

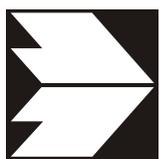
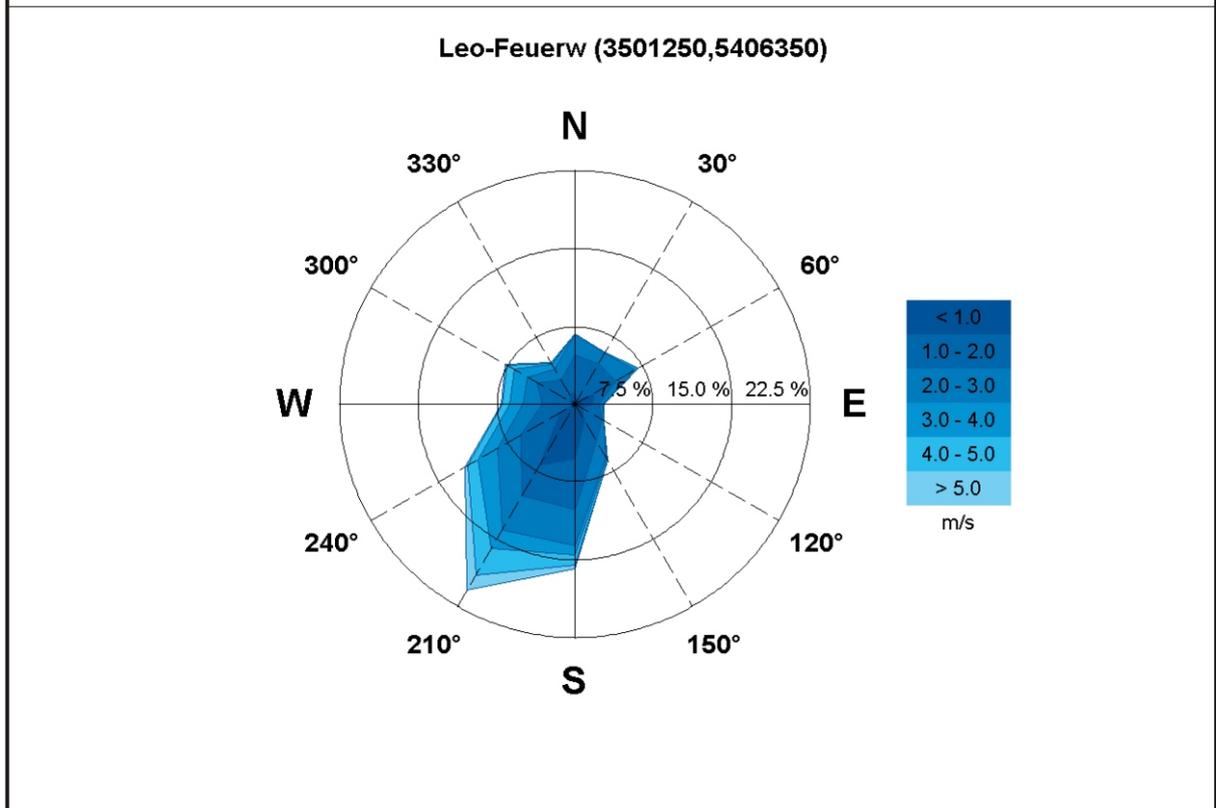
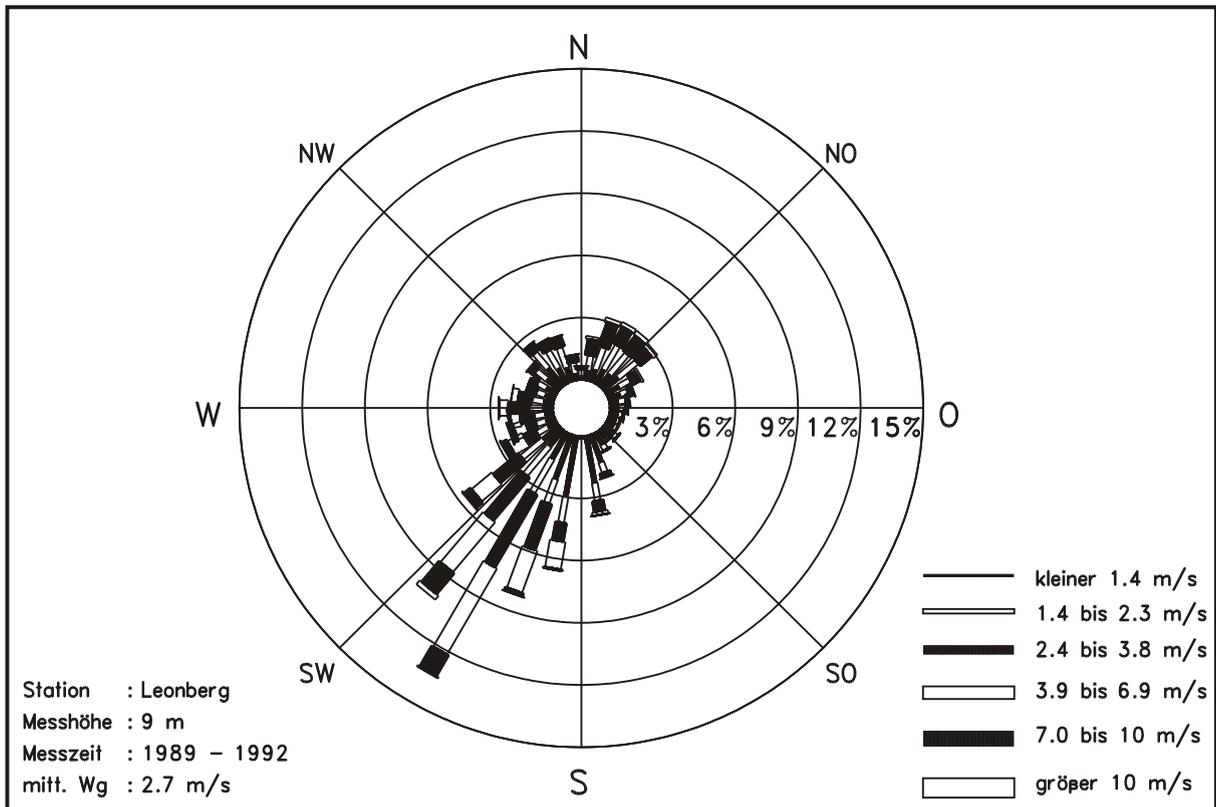


Abb. 3.7: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der Station Leonberg-Feuerwehr.  
 Oben: Gemessen, Quelle: Ökoplana (1993)  
 Unten: synthetisch, Quelle: LUBW (Internet)

Weiterhin liegt für den Standort „Grabenstraße“ eine synthetische Windstatistik vor, die in **Abb. 3.8** aufgezeigt ist. Die Hauptwindrichtung wird durch südwestliche bis südliche Winde geprägt, als häufige Nebenwindrichtungen sind nordöstliche bis nördliche Winde aufgezeigt. Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit wird unter Berücksichtigung der städtischen Bebauung mit ca. 2.3 m/s angegeben.

Für die Ausbreitungsrechnungen wurden die synthetischen Winddaten für den Standort Grabenstraße in Leonberg herangezogen und auf eine 10-Grad Einteilung übertragen. Die Ausbreitungsklassen wurden anhand der aus den Bewölkungsangaben der „Wetterstation Stuttgart Flughafen“ abgeleiteten Häufigkeitsverteilung mit dem Verfahren nach Kolb (1976) auf den Standort Leonberg übertragen.

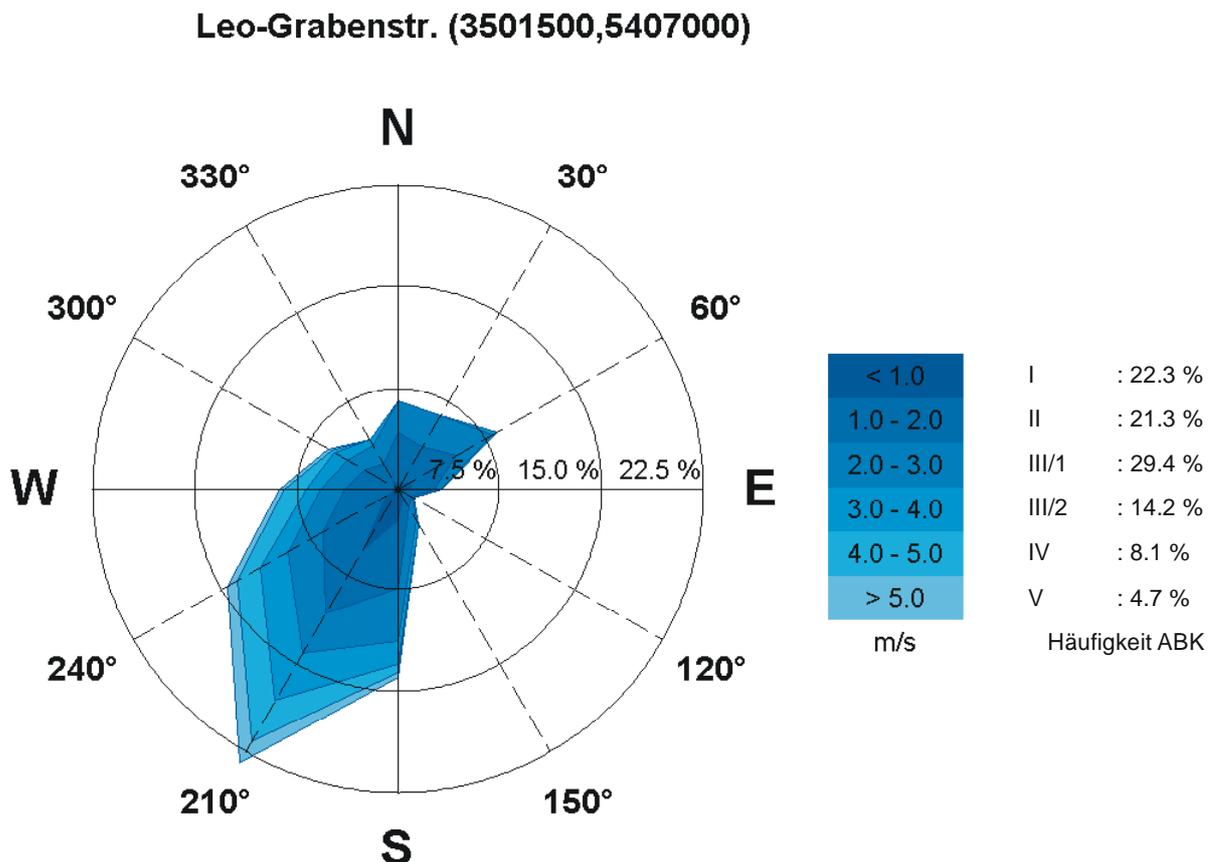


Abb. 3.8: Windstatistik für den Standort Grabenstraße in Leonberg, Quelle: Daten- und Kartendienst der LUBW (LUBW, Internet)

## 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 Leonberg berechnet. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse konzentriert sich im Folgenden auf den Straßenabschnitt an der bislang betriebenen SPOT-Messstelle Grabenstraße.

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

Die berechneten mittleren NO<sub>x</sub>- und PM10-Emissionen an der SPOT-Messstelle in Leonberg sind in **Abb. 4.1** (oben) für den Straßenabschnitt der Grabenstraße und als relative Darstellungen bezogen auf die Emissionsmodellierung des Referenzzustandes, d.h. den Nullfall im Jahr 2011, in **Abb. 4.1** (unten) aufgezeigt.

In Leonberg nehmen die NO<sub>x</sub>-Emissionen an der Grabenstraße gegenüber dem Nullfall mit der Maßnahme **M1** 2011 bis auf 91% ab. Mit den Maßnahmen **M1 + M2 (Stufe 2)** nehmen die NO<sub>x</sub>-Emissionen im Jahr 2012 bis auf 84% des Nullfalls 2011 ab und mit den Maßnahmen **M1 + M2 (Stufe 3)** nehmen die NO<sub>x</sub>-Emissionen im Jahr 2013 bis auf 73% des Nullfalls 2011 ab. Ohne Maßnahmen würden im Jahr 2012 die Emissionen durch die natürliche Flottenerneuerung auf ca. 95% des Nullfalls 2011 abnehmen und im Jahr 2013 auf ca. 90%.

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 Leonberg mit der Maßnahme **M1** 2011 ca. 92%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 2)** im Jahr 2012 ca. 84% und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 76% der PM10-Emissionen zu erwarten. Ohne Maßnahmen würden im Jahr 2012 die Emissionen auf ca. 96% des Nullfalls 2011 abnehmen und im Jahr 2013 auf ca. 92%.

Die Maßnahme M1 LKW-Durchfahrtsverbot führt zu deutlich geringerem Schwerverkehr und die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei durch die Kombination der Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 die größten Reduktionen der NO<sub>x</sub>- und PM10-Emissionen zu erwarten sind.

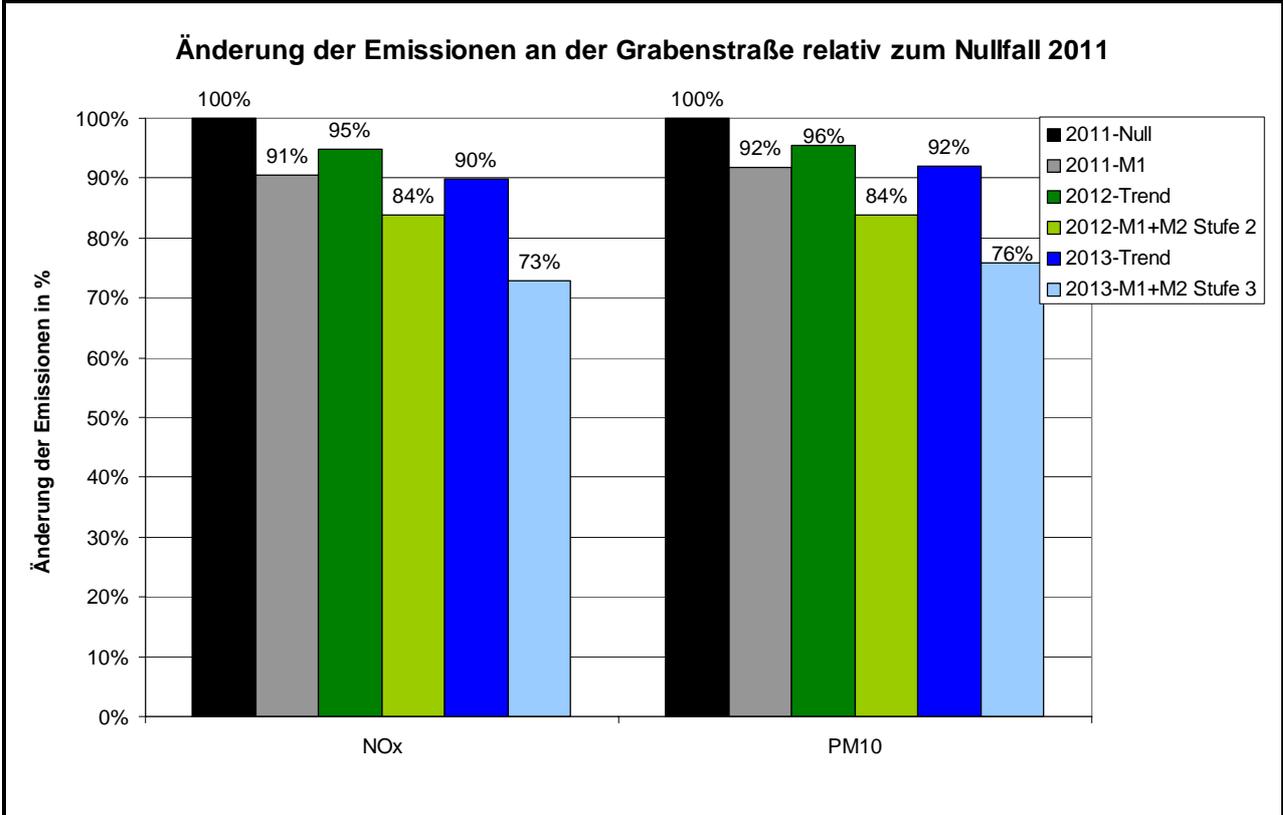
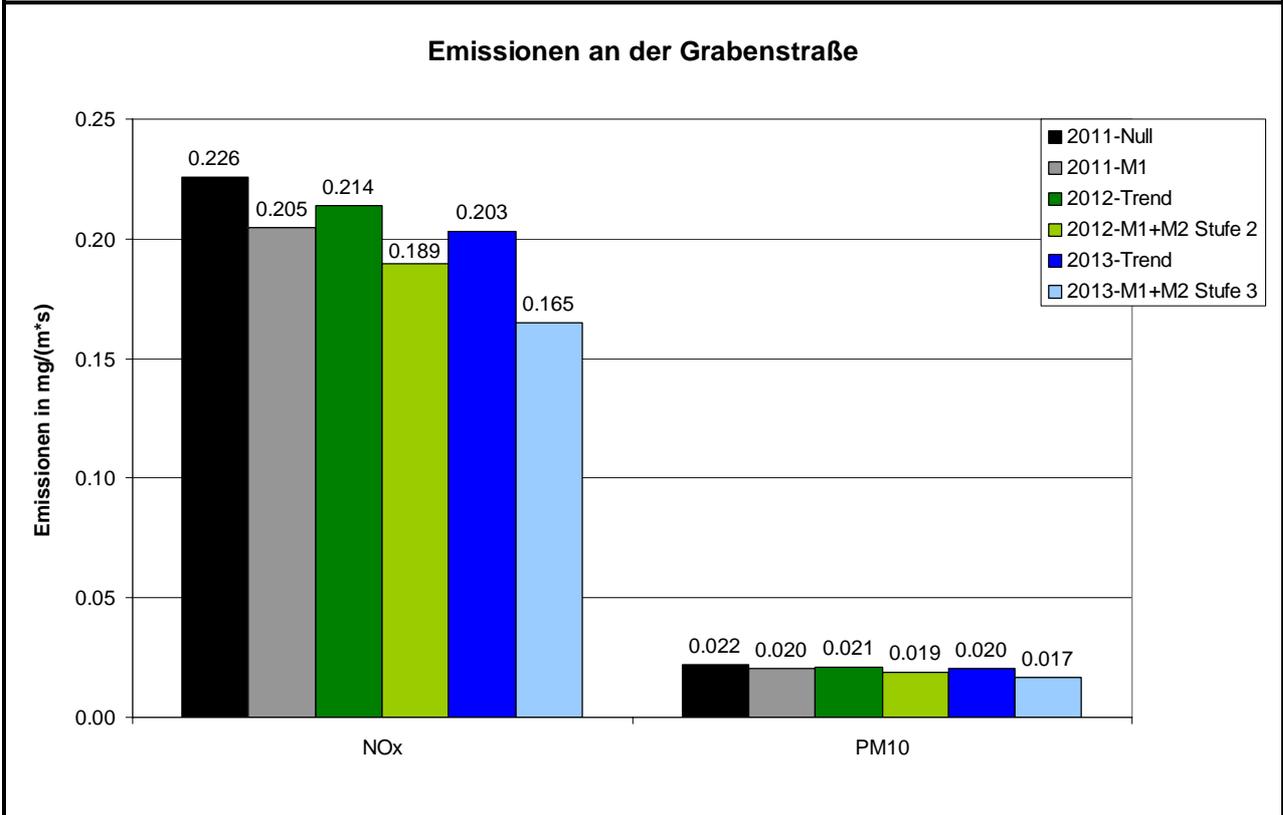


Abb. 4.1: Emissionen an der Grabenstraße in Leonberg für die betrachteten Maßnahmen und Fälle.  
 oben: Emission in [mg/(m\*s)]  
 unten: Relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2011 in %

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.

## 4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen

Seit 2004 werden in Leonberg an der SPOT-Messstelle an der Grabenstraße die NO<sub>2</sub>- und PM10-Immissionen erfasst. **Tab. 4.1** zeigt eine Zusammenstellung der Messdaten in Leonberg für die Straßenmesspunkte an der Grabenstraße und die Messungen im Stadtbereich, am Müllergässle in größerem Abstand zu den Hauptverkehrsstraßen. Die Messpunkte MP1 und MP2 lagen am westlichen Straßenrand, wobei MP1 vor einem lang gestreckten Gebäuderiegel angeordnet war und MP2 auf einem städtischen Platz steht. Die Messpunkte MP3 und MP4 lagen am östlichen Straßenrand im Nahbereich bestehender Bebauung. Der Messpunkt MP4 unterlag von 2004 zu 2005 einer Änderung der örtlichen Gegebenheiten, da das nächstgelegene Gebäude abgerissen und der Messpunkt etwas verlagert wurde. Damit lag dieser Messpunkt in einem Bereich der Grabenstraße, in dem die Randbebauung am östlichen Straßenrand zurückgesetzt ist. Der Messpunkt MP5 am Müllergässle weist einen größeren Abstand zur B 295 auf und wurde als Hintergrund-Messpunkt bezeichnet. Seit 2006 wird nur noch der Messpunkt MP1 betrieben.

Für die Beschreibung der Auswirkungen möglicher 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 mit umliegenden Messstationen und aus dem Vergleich der Berechnungs- und Messergebnisse des Stadtbereichs mit Werten für NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte von 28 µg/m<sup>3</sup> und für PM10-Jahresmittelwerte von 22 µg/m<sup>3</sup> abgeleitet und dann auf die verkehrsbeeinflussten Stationsstandorte angewendet, um einen Vergleich zwischen den Mittelwerten der Messdaten und den Berechnungsergebnissen zu erhalten. Bei den Berechnungen wird die Randbebauung typisiert nach Straßenraumbreite, Höhe der Randbebauung und Lückigkeit der Randbebauung für einzelne

Straßenabschnitte 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.

Schadstoffkomponente	Zeitraum	MP1	MP2	MP3	MP4	Müllergässle
NO <sub>2</sub> - Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	2004	83	65	77	62	33
	2005	85	67	76	52	36
	2006	75	59	67	53	32
	2007	72	-	-	-	27
	2008	67	-	-	-	-
	2009	69	-	-	-	-
	2010	70	-	-	-	-
PM10- Jahresmittel [µg/m <sup>3</sup> ]	2004	-	-	-	-	-
	2005	-	-	-	27	-
	2006	-	-	-	29	-
	2007	33	-	-	-	-
	2008	32	-	-	-	-
	2009	31	-	-	-	-
	2010	35	-	-	-	-
Zahl der Überschreitungen des PM10- Tagesmittelwertes	2004	-	-	-	-	-
	2005	-	-	-	16	-
	2006	-	-	-	39	-
	2007	48	-	-	-	-
	2008	39	-	-	-	-
	2009	34	-	-	-	-
	2010	55	-	-	-	-

Tab. 4.1: Messdaten 2004 bis 2010 an den Messpunkten an der Grabenstraße und im Müllergässle in Leonberg (LUBW, 2005-2010), PM10-Überschreitung = Anzahl der Tage über 50 µg/m<sup>3</sup>.

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

	NO <sub>2</sub> - Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]	PM10- Jahresmittelwert [µg/m <sup>3</sup> ]	PM10 Anzahl Überschreitungs- tage
Grabenstraße	70	37	74

Tab. 4.2: Berechnete Immissionen an der Straßenmessstation in Leonberg für das Jahr 2011

Die berechneten NO<sub>2</sub>-Belastungen weisen an der Messstation zufriedenstellende Übereinstimmungen mit den Messdaten auf. Es werden an der Grabenstraße deutliche Überschreitungen des Grenzwertes für NO<sub>2</sub> gemessen. Die berechneten Ergebnisse zeigen ebenfalls deutliche Grenzwertüberschreitungen. Die berechneten PM10-Immissionen weisen ebenfalls zufriedenstellende Übereinstimmungen mit den Messdaten auf. Eine Überschreitung des Grenzwertes wurde nicht gemessen und nicht berechnet. Die statistische Ableitung der PM10-Überschreitungstage basiert auf einem konservativen Ansatz (siehe Anhang A1.4) und führt daher zu höheren Angaben.

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-Messstelle an der Grabenstraße 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. 4.2** (oben) sind die berechneten Jahresmittelwerte für NO<sub>2</sub> und PM10 und in **Abb. 4.2** (unten) die relativen Änderungen der berechneten NO<sub>2</sub>- und PM10-Immissionen für die Jahre 2011, 2012 und 2013 sowie für die Maßnahmen **M1**, **M2 (Stufe 2)** und **M2 (Stufe 3)** bezogen auf den Nullfall 2011 aufgezeigt. Im Anhang A2 sind die berechneten Immissionen für die betrachteten Hauptverkehrsstraßen in Leonberg grafisch dargestellt.

In Leonberg weisen gegenüber dem Nullfall 2011 die NO<sub>2</sub>-Belastungen an der Grabenstraße mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 95%, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 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 2012 sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten NO<sub>2</sub>-Beiträge bis ca. 97% und bis zum Jahr 2013 bis ca. 94% des Nullfalls zu erwarten, die entsprechend den Berechnungen an den betrachteten Straßenabschnitten nicht zur Einhaltung des geltenden Grenzwertes von 40 µg/m<sup>3</sup> führen. Die beschriebenen Maßnahmen des LKW-Durchfahrtsverbot und der Umweltzone Stufe 3 führen zu einer deutlichen Verringerung der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastungen, die jedoch ebenfalls nicht zur Einhaltung des geltenden Grenzwertes an der Grabenstraße führt.

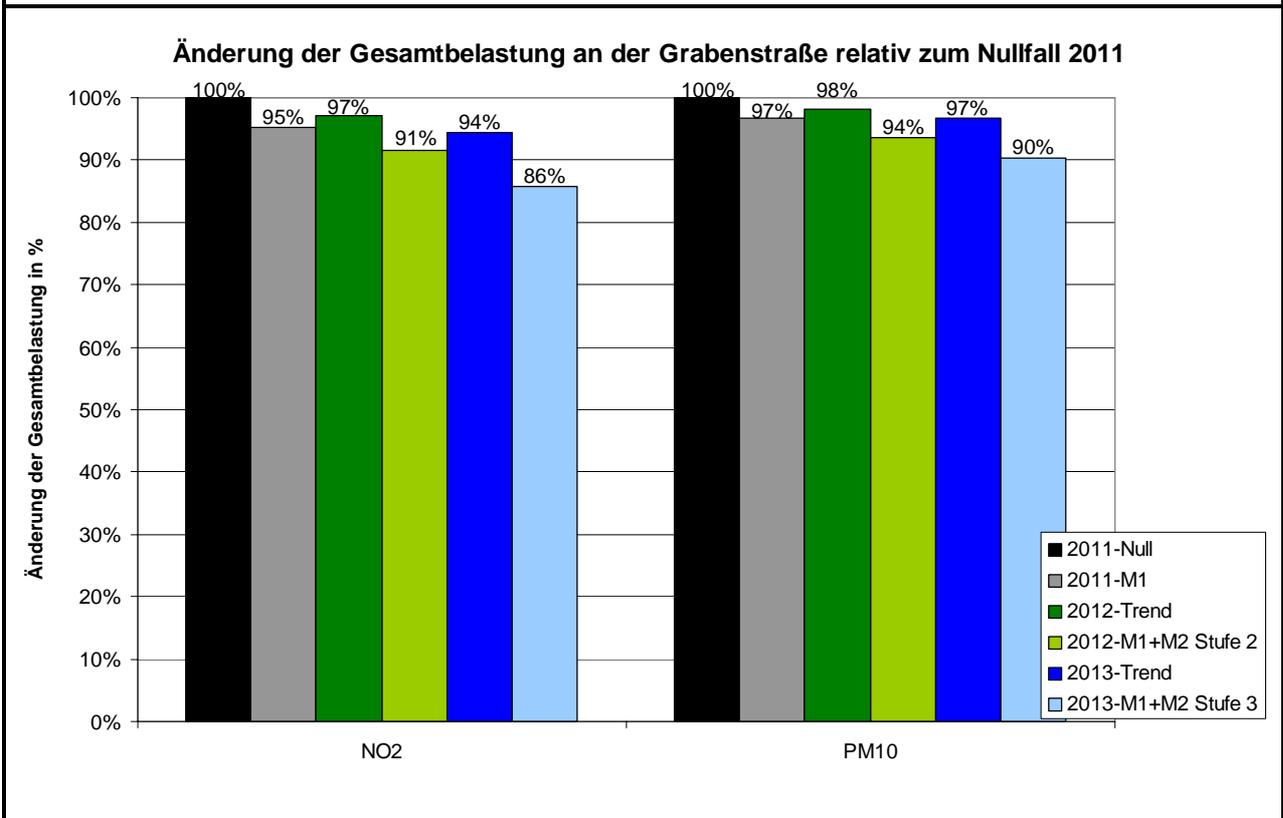
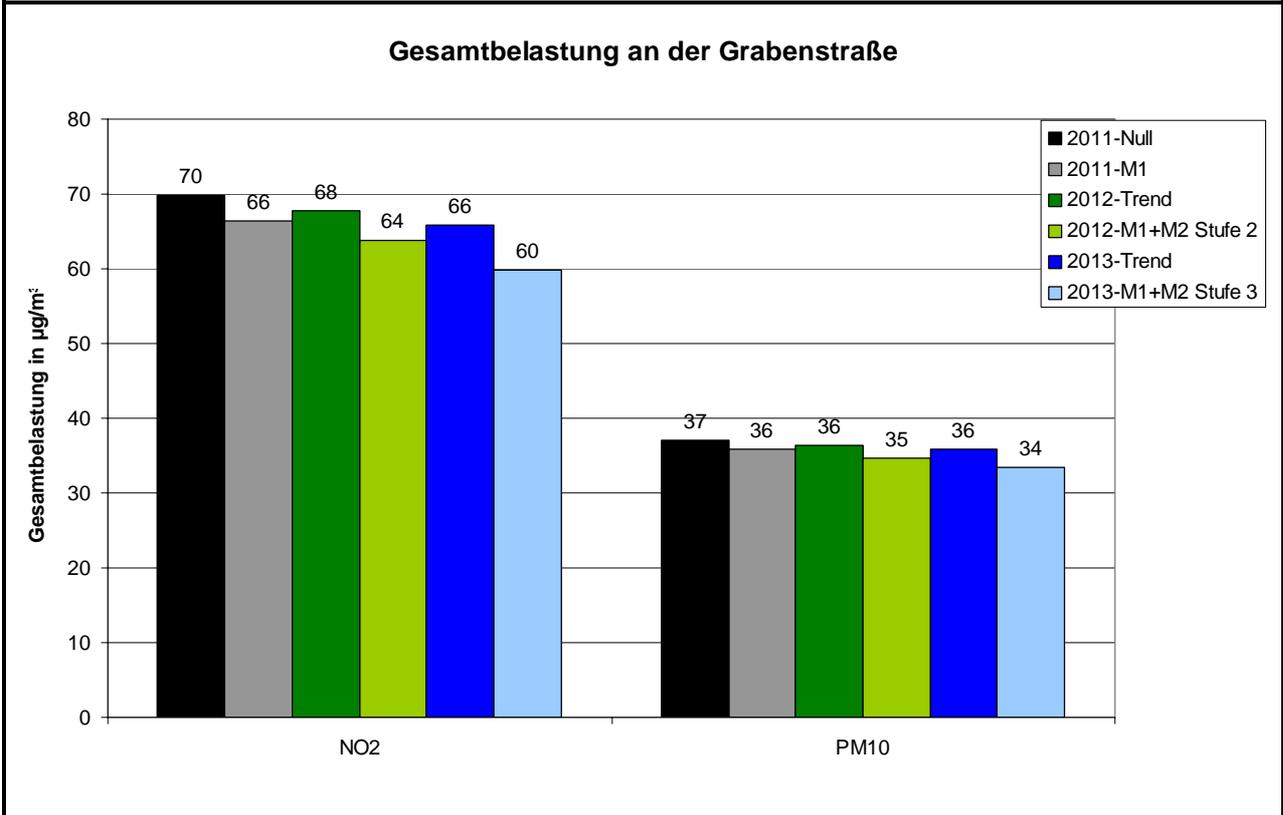


Abb. 4.2: Immissionen an der Grabenstraße in Leonberg für die betrachteten Maßnahmen und Fälle.  
 oben: Konzentration in [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]  
 unten: Änderung gegenüber Nullfall 2011 in %

Die prognostizierten PM10-Immissionen weisen an der Grabenstraße gegenüber dem Nullfall 2011 mit der Maßnahme **M1** im Jahr 2011 ca. 97%, im Jahr 2012 mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 2)** ca. 94% und im Jahr 2013 mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** ca. 90% der Gesamtbelastungen auf. Mit der natürlichen Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten PM10-Beiträge bis ca. 98% und bis zum Jahr 2013 bis ca. 97% des Nullfalls zu erwarten.

Anhand der PM10-Jahresmittelwerte können Rückschlüsse auf die Anzahl an Überschreitungstage mit Tagesmittelwerten über  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gezogen werden. Danach ist an der betrachteten SPOT-Messstelle im Nullfall 2011 mit ca. 74 Überschreitungstagen zu rechnen. Mit der Maßnahme M1 sind im Jahr 2011 ca. 68 Überschreitungstage, mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 2)** im Jahr 2012 etwa 61 Überschreitungstage, und mit den Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 ca. 55 Überschreitungstage prognostiziert. Dieser Ansatz entspricht einer konservativen Vorgehensweise. Die Umsetzung der Maßnahmen in Leonberg führt zu einer deutlichen Verringerung der Anzahl an Überschreitungstagen.

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 dem betrachteten Straßenabschnitt der Grabenstraße wird sowohl im Referenzzustand als auch in den betrachteten Maßnahmenfällen der jeweils geltende Übergangsbeurteilungswert 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 in der Umweltzone und das LKW-Durchfahrtsverbot 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](http://www.bmu.de)
- Aviso (2009): Prognose der dynamischen KFZ-Flotte für Baden-Württemberg für die Jahre 2011 bis 2013.
- Bächlin, W., Bösing, 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.
- Bächlin, W., Bösing, R. (2007): Aktualisierung des NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Projekt 60976-04-01. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen (unveröffentlicht).
- 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., Bösing, 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.
- Lohmeyer, A., Nagel, T., Clai, G., Düring, I., Öttl, D. (2000): Bestimmung von Kurzzeitbelastungswerten - Immissionen gut vorhergesagt. In: Umwelt (kommunale ökologische Briefe) Nr. 01/05.01/2000.
- LUA NRW (2006): Jahresbericht 2005, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, Februar 2006, [www.lua.nrw.de](http://www.lua.nrw.de) bzw. [www.lanuv.nrw.de](http://www.lanuv.nrw.de).
- 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](http://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](http://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)
- Ökoplana (1993): Klimaökologische Analyse im Stadtgebiet Leonberg unter besonderer Berücksichtigung des Strömungsgeschehens. Bearbeitet von Dr. Seitz, Ökoplana, Mannheim.
- Planungsgruppe Kölz (2007): Machbarkeitsstudie „Altstadttunnel“ der Stadt Leonberg. Bearbeitet von Planungsgruppe Kölz, Ludwigsburg im Auftrag der Stadt Leonberg.

- Röckle, R., Richter, C.-J. (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO<sub>2</sub>-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für KFZ-Abgase. Hrsg.: Gefahrstoffe-Reinhalte 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.
- Universität Stuttgart (2011): Verkehrsprognose für Leonberg für ein LKW-Durchfahrtsverbot und für den Nullfall. Universität Stuttgart, Institut für Straßen und Verkehrswesen, Mai 2011.
- 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 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) und durch weitere Auswertungen für die hohen Konzentrationen modifiziert (Bächlin et al. 2007).

### **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 Rechenresultaten 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 Rechenresultaten 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  $\text{NO}_2$  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  $\text{PM}_{10}$ -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  $\text{PM}_{10}$ -Tagesmittelwerten größer als  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und dem  $\text{PM}_{10}$ -Jahresmittelwert gefunden (**Abb. A1.1**). Daraus wurde eine funktionale Abhängigkeit der  $\text{PM}_{10}$ -Überschreitungshäufigkeit vom  $\text{PM}_{10}$ -Jahresmittelwert abgeleitet (BASt, 2005). Die Regressionskurve nach der Methode der kleinsten Quadrate („best fit“) und die mit

einem Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöhte Funktion („best fit + 1 sigma“) sind ebenfalls in der **Abb. 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).

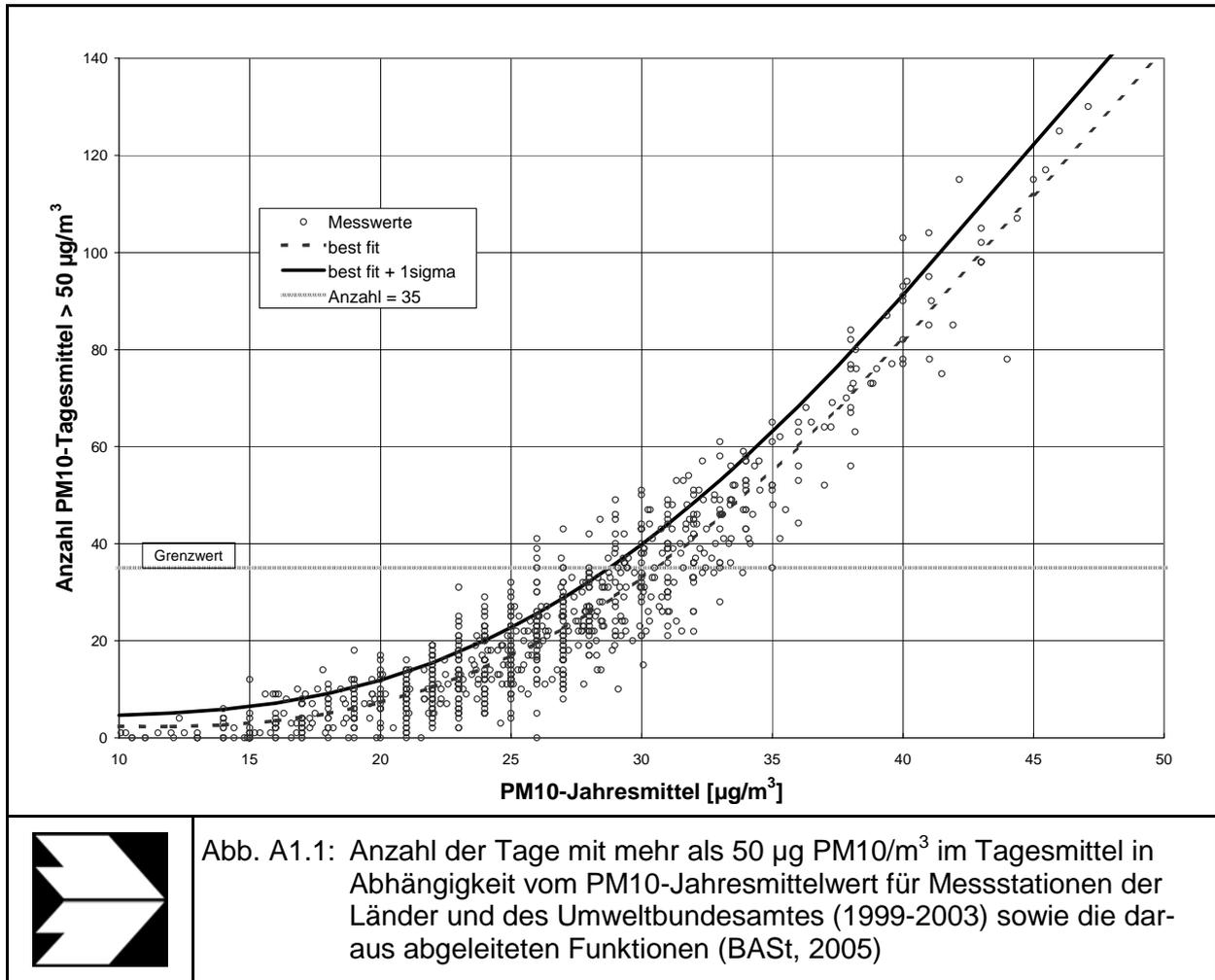


Abb. A1.1: Anzahl der Tage mit mehr als 50 µg PM10/m<sup>3</sup> im Tagesmittel in Abhängigkeit vom PM10-Jahresmittelwert für Messstationen der Länder und des Umweltbundesamtes (1999-2003) sowie die daraus abgeleiteten Funktionen (BASt, 2005)

**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 der Straßenmessstation in Leonberg aufgeführt. Für den Nullfall 2011 und die Maßnahmen **M1** im Jahr 2011 sowie die Maßnahmen **M1 und M2 (Stufe 2)** im Jahr 2012 und **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 sind in **Abb. A2.1 bis A2.4** die berechneten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte für alle betrachteten Hauptverkehrsstraßen dargestellt. Die Berechnungen erfolgen an den Straßenabschnitten mit bestehender Randbebauung für Bereiche vor der zur Fahrbahn nächstgelegenen Bebauung und für Straßenabschnitte ohne Randbebauung für einen Immissionsort in ca. 10 m Abstand zur Straße. In der Grafik sind Konzentrationswerte über 40 µg/m<sup>3</sup>, d.h. über dem ab 2010 gültigen NO<sub>2</sub>-Grenzwert der 39. BImSchV, in gelben und roten Farben dargestellt. An stark frequentierten Straßenabschnitten sind teilweise weiterhin hohe NO<sub>2</sub>-Belastungen prognostiziert, die bei entsprechenden Nutzungen zu Überschreitungen des Grenzwertes führen; 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 PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte für den Nullfall 2011 und die Maßnahmen **M1** im Jahr 2011 sowie **M1 und M2 (Stufe 2)** im Jahr 2012 und **M1 und M2 (Stufe 3)** im Jahr 2013 für alle betrachteten Hauptverkehrsstraßen in Leonberg aufgezeigt. In der Grafik sind Konzentrationswerte über 28 µg/m<sup>3</sup>, d.h. über dem PM<sub>10</sub>-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 PM<sub>10</sub>-Kurzzeitbelastungswertes interpretiert werden. Eine Überschreitung des Grenzwertes für das PM<sub>10</sub>-Jahresmittel ist an den Hauptverkehrsstraßen in Leonberg nur an der Grabenstraße ohne weitere Maßnahmen zu erwarten. Mit den Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 3) im Jahr 2013 ist die Einhaltung des Kurzzeitwertes für PM<sub>10</sub> mit Ausnahme eines kurzen Streckenabschnittes in Leonberg an der Grabenstraße und nördlich davon an der Feuerbacher Straße im gesamten Untersuchungsgebiet zu erwarten.

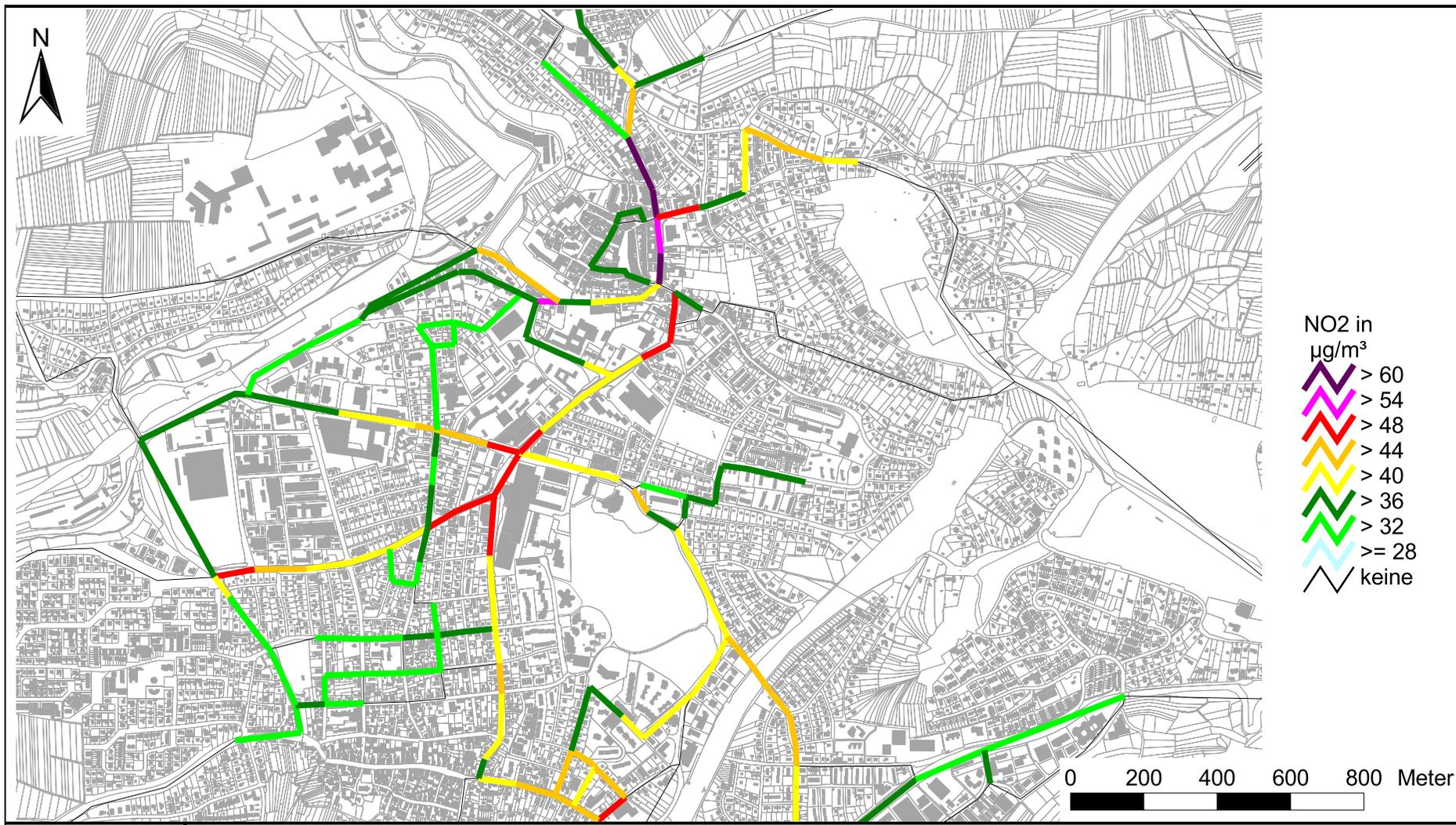


Abb. A2.1: NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Nullfall im Jahr 2011

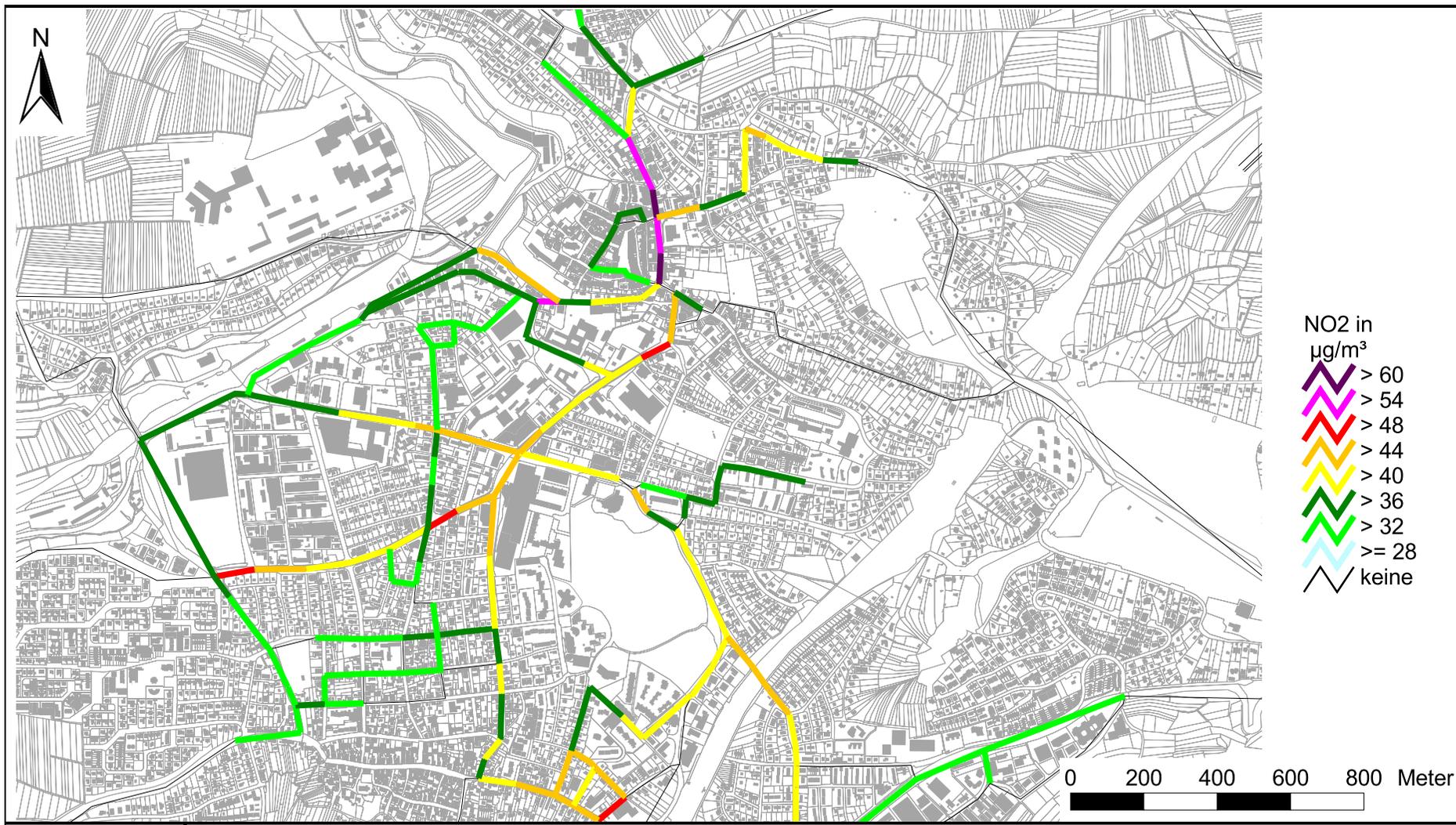


Abb. A2.2: NO2-Immissionen (Jahresmittelwerte) für die Maßnahme M1 im Jahr 2011

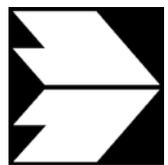
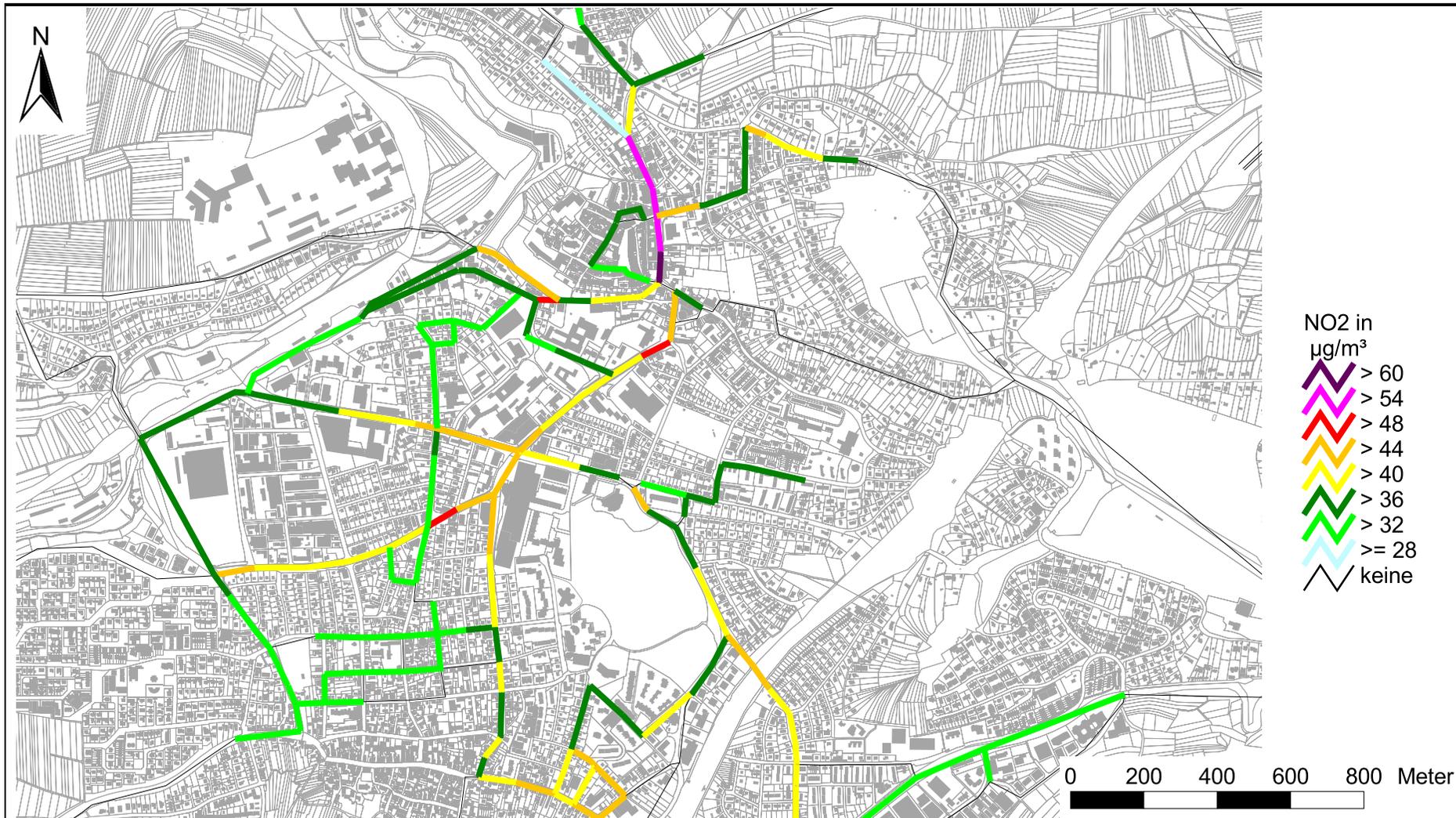


Abb. A2.3: NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) für die Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 2) im Jahr 2012

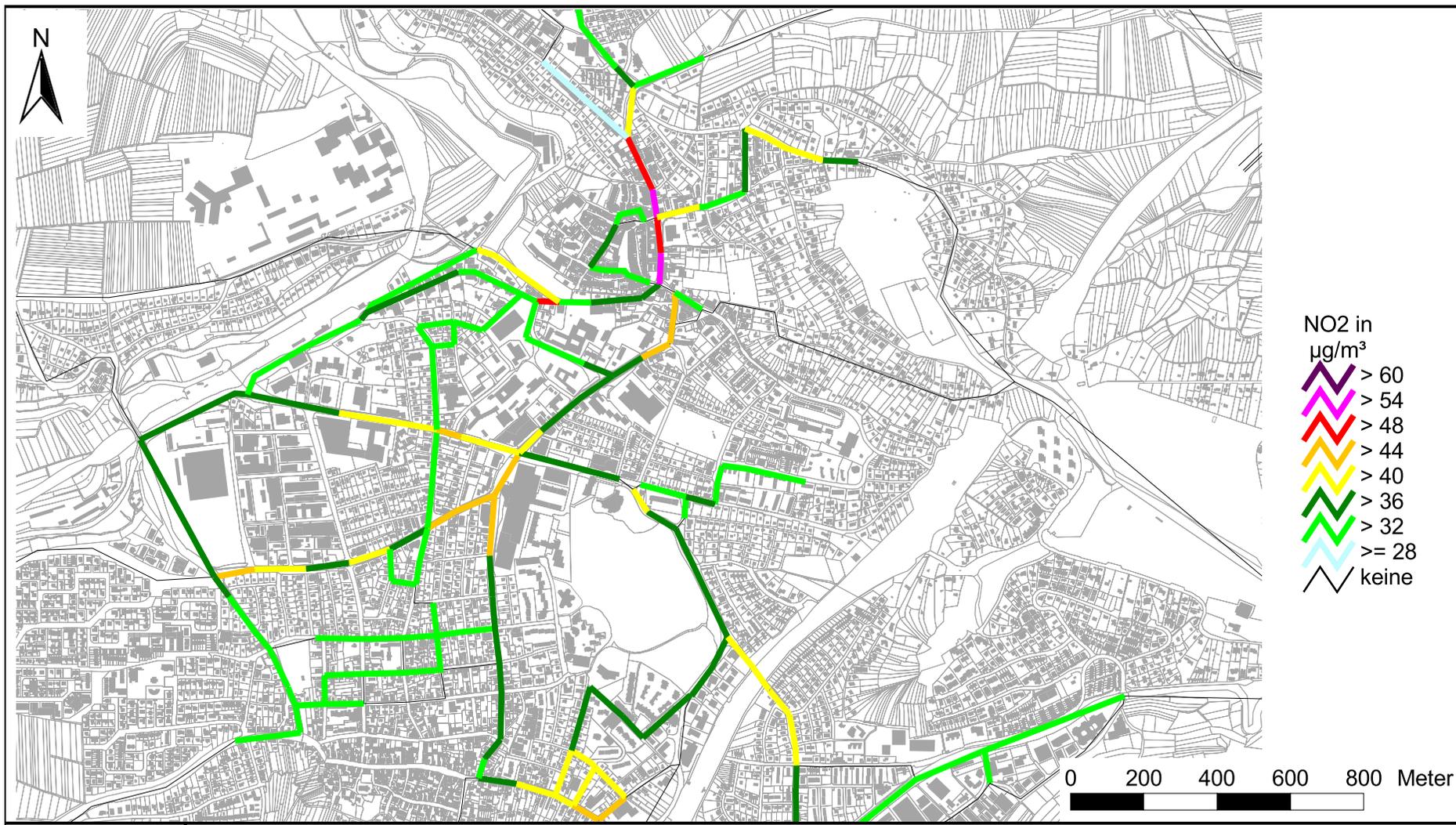


Abb. A2.4: NO<sub>2</sub>-Immissionen (Jahresmittelwerte) für die Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 3) im Jahr 2013

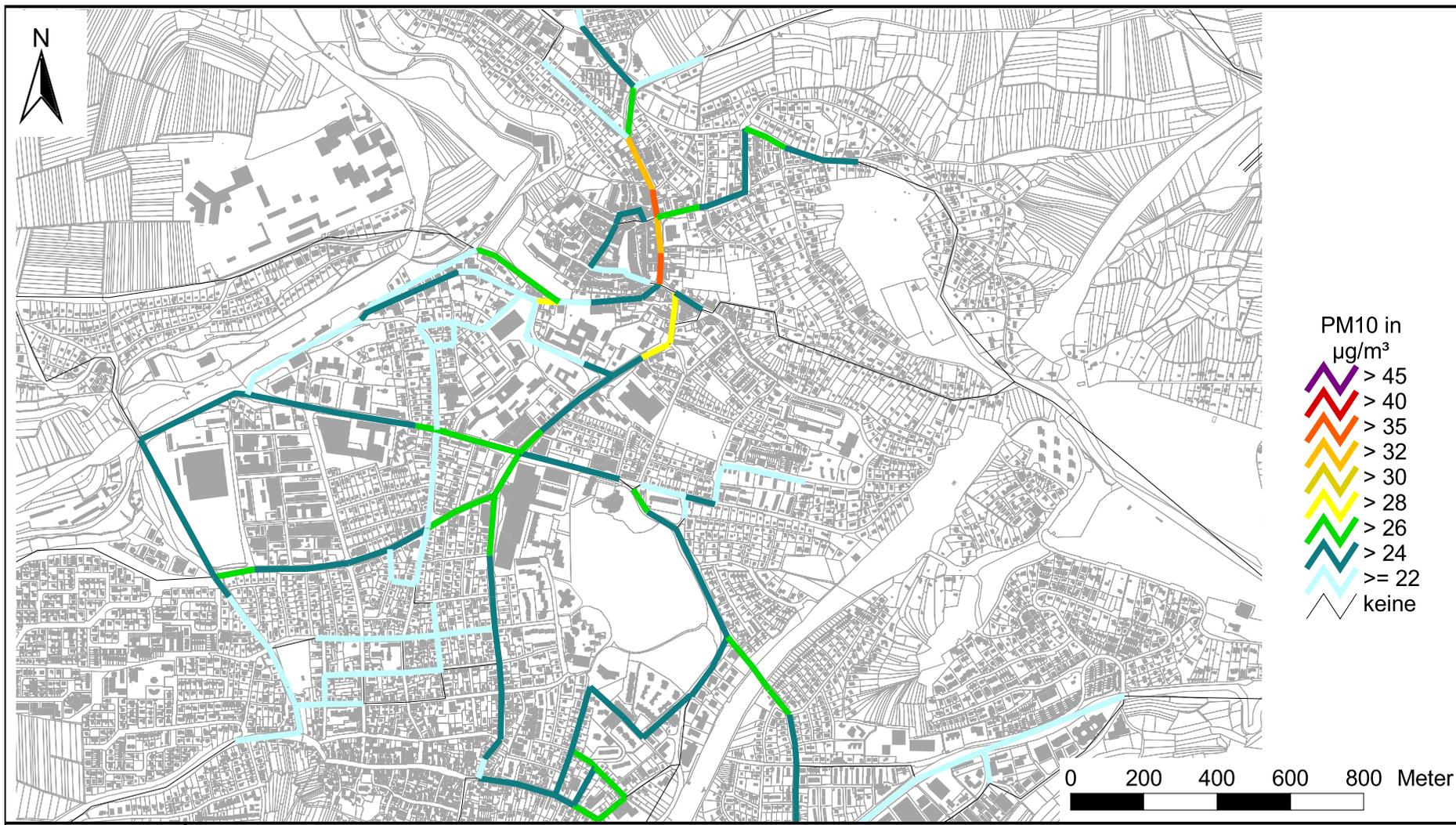


Abb. A2.5: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Nullfall im Jahr 2011

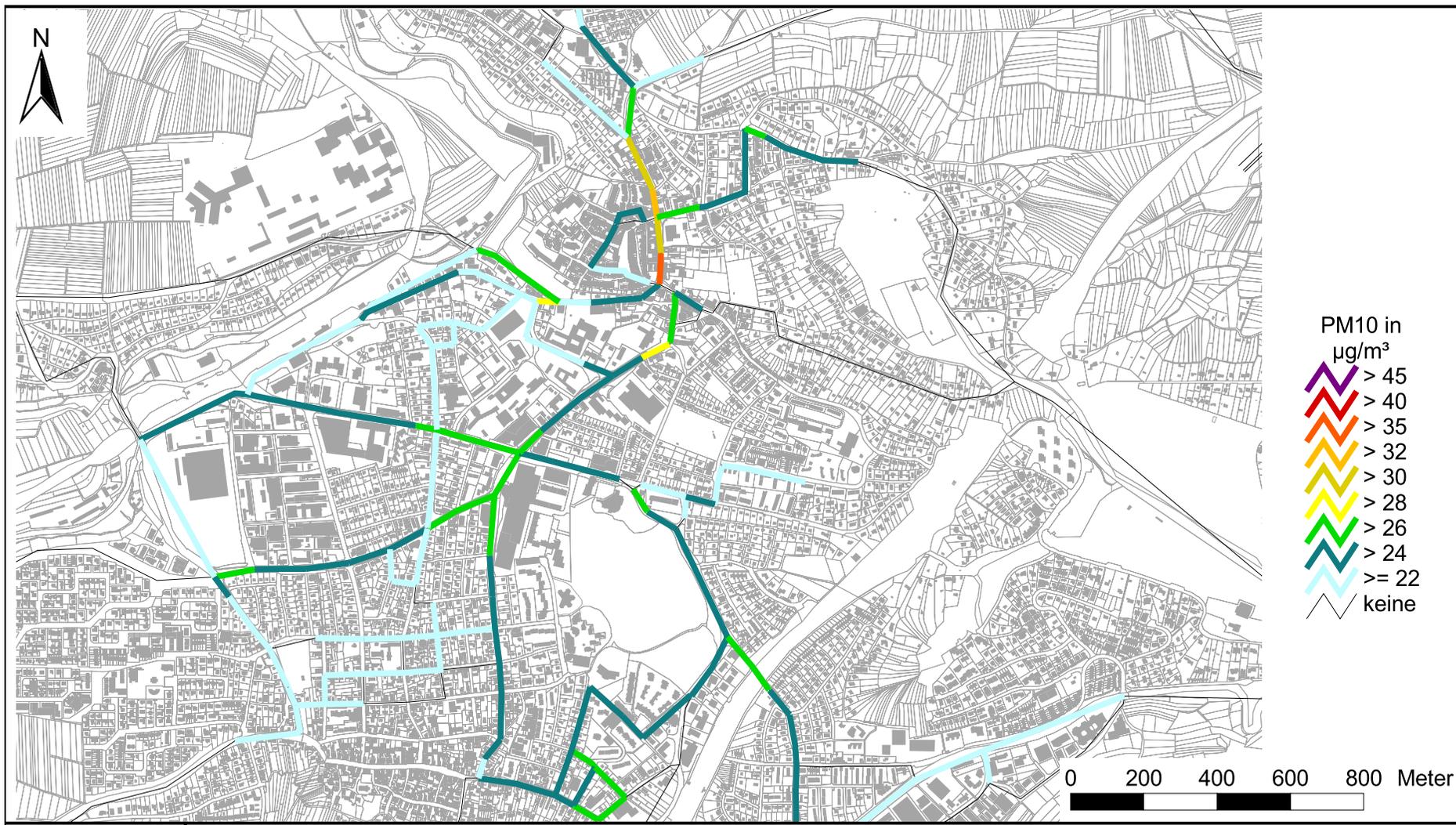


Abb. A2.6: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für die Maßnahme M1 im Jahr 2011

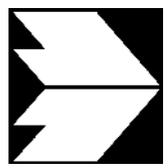
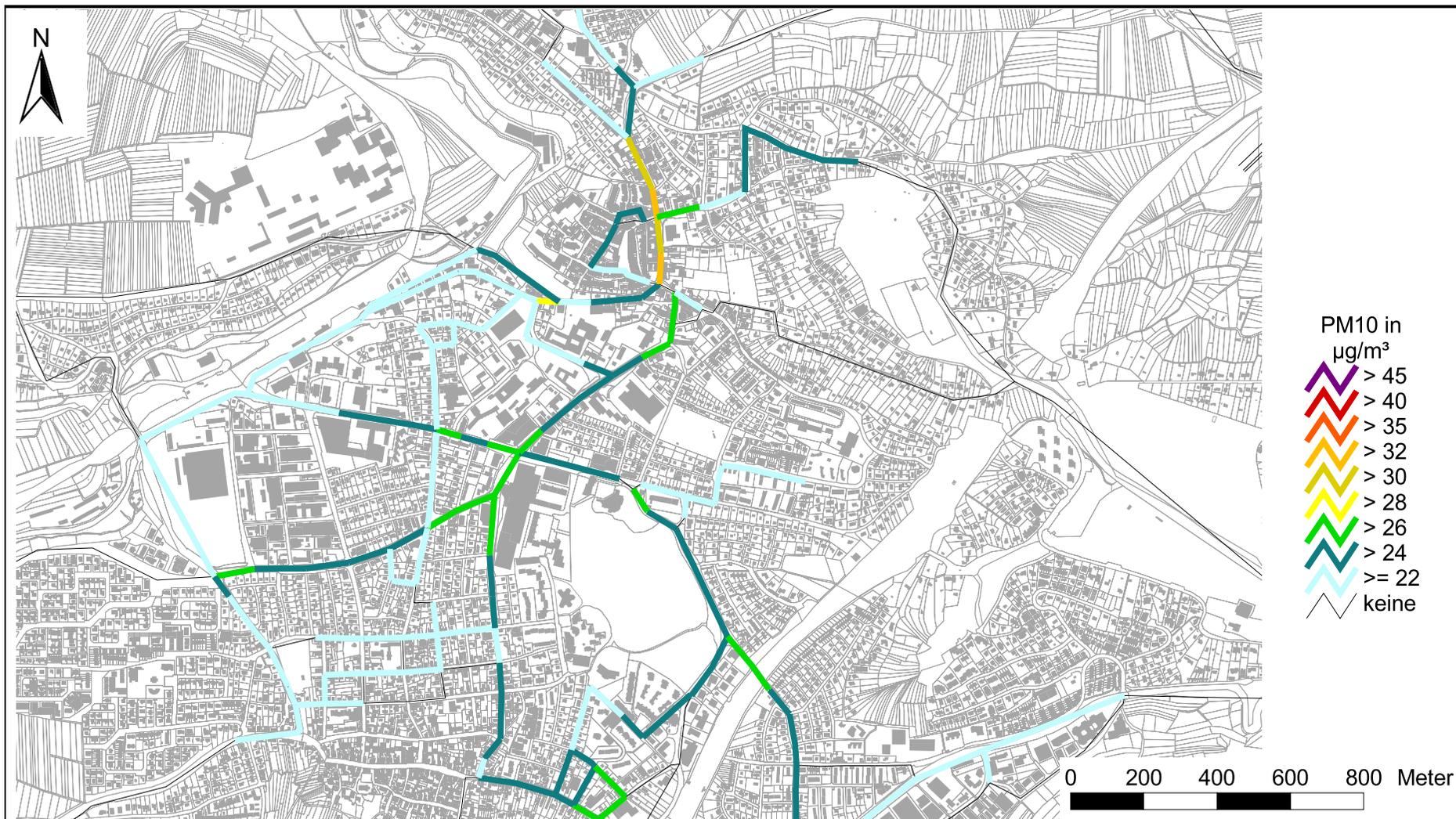


Abb. A2.7: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für die Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 2) im Jahr 2012

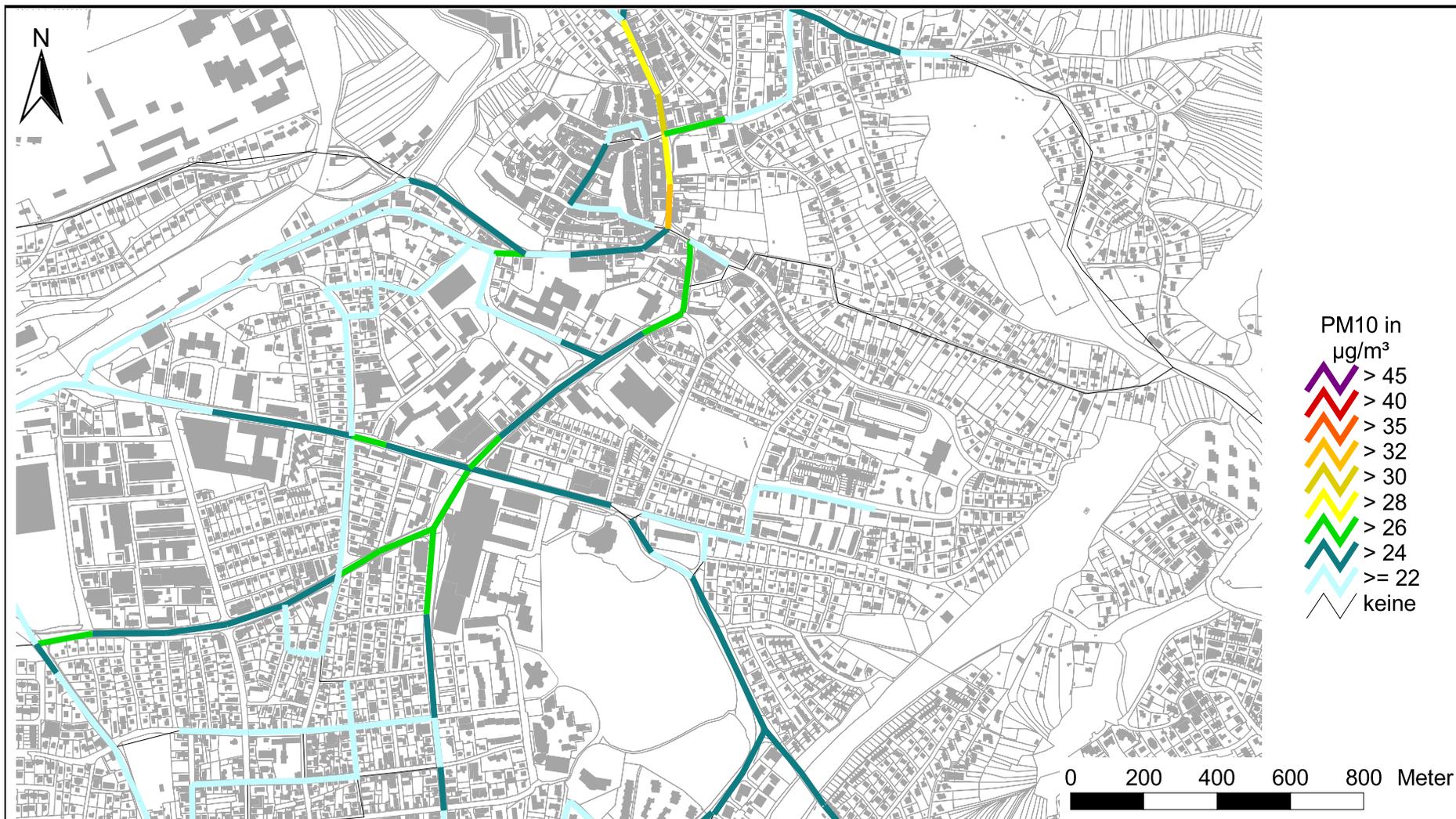


Abb. A2.8: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für die Maßnahmen M1 und M2 (Stufe 3) im Jahr 2013