



**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
LUFTREINHALTE-/AKTIONSPLANS
HEILBRONN**

Auftraggeber: Regierungspräsidium Stuttgart
Postfach 800709
70507 Stuttgart

Dipl.-Geogr. T. Nagel

Dr.-Ing. A. Lohmeyer

Juli 2007
Projekt 60744-06-01
Berichtsumfang 52 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN	1
1 ZUSAMMENFASSUNG	4
2 AUFGABENSTELLUNG	7
3 EINGANGSDATEN UND EMISSIONSFAKTOREN.....	8
3.1 Lagedaten.....	8
3.2 Verkehr	8
3.3 Fahrzeugflotte.....	13
3.4 Emissionsfaktoren	16
3.4.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren	16
3.4.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren	17
3.4.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen	18
3.5 Meteorologische Daten.....	20
4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN	22
4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte.....	22
4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen.....	27
5 LITERATUR	36
A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION.....	40
A2 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSEN- NETZ	46

Hinweise:

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

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

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

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

Emission / Immission

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

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. Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Vorsorgewerte stellen zusätzliche Beurteilungsmaßstäbe dar, die zahlenmäßig niedriger als Grenzwerte sind und somit im Konzentrationsbereich unterhalb der Grenzwerte eine differenzierte Beurteilung der Luftqualität ermöglichen.

Jahresmittelwert / 98-Perzentilwert / Kurzzeitwert (Äquivalentwert)

An den betrachteten Untersuchungspunkten unterliegen die Konzentrationen der Luftschadstoffe in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen etc. ständigen Schwankungen. Die Immissionskenngrößen Jahresmittelwert, 98-Perzentilwert und weitere Kurzzeitwerte charakterisieren diese Konzentrationen. Der Jahresmittelwert stellt den über das Jahr gemittelten Konzentrationswert dar. Eine Einschränkung hinsichtlich Beurteilung der Luftqualität mit Hilfe des Jahresmittelwertes besteht darin, dass er nichts über Zeiträume mit hohen Konzentrationen aussagt. Eine das ganze Jahr über konstante Konzentration kann zum gleichen Jahresmittelwert führen wie eine zum Beispiel tagsüber

sehr hohe und nachts sehr niedrige Konzentration. Der Gesetzgeber hat deshalb zusätzlich zum Jahresmittelwert z.B. den so genannten 98-Perzentilwert (oder 98-Prozent-Wert) der Konzentrationen eingeführt. Das ist derjenige Konzentrationswert, der in 98 % der Zeit des Jahres unterschritten wird.

Die Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22. BImSchV) fordert die Einhaltung weiterer Kurzzeitwerte in Form des Stundenmittelwertes der 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.

Emissionsgrenzwerte für Partikel und NO_x mit Geltungsjahr

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

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

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

1 ZUSAMMENFASSUNG

Der kombinierte Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart, Teilplan Heilbronn, nennt Maßnahmen zur Verringerung der Luftschadstoffbelastungen. Für folgende Maßnahmen wurden Berechnungen der zu erwartenden Minderungen der Immissionen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführt:

- M1** Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Heilbronn (Umweltzone) ab dem 01.01.2008 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung

- M2** Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Heilbronn (Umweltzone) ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung

Für die Hauptverkehrsstraßen in Heilbronn werden die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen berechnet. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes von Heilbronn und Umgebung werden unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1, der Fahrzeugflotte für Baden-Württemberg und mit den neuesten Erkenntnissen 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, ergänzend auch die Rußbelastungen.

Für die Prognose der Auswirkungen der Maßnahmen werden im ersten Schritt die Änderungen der Emissionen, d.h. der Schadstofffreisetzungen in den Straßenabschnitten, und im zweiten Schritt die Änderungen der Immissionen berechnet. Da sich die Maßnahmen **M1** und **M2** auf zwei unterschiedliche Jahre beziehen, werden zusätzlich die jeweiligen Jahre ohne berücksichtigte Maßnahmen betrachtet. Die Auswertungen beziehen sich im Wesentlichen auf die Straßenabschnitte an den verkehrsnahen Messstationen.

Für die NO_x-Emissionen sind an den Straßenabschnitten der Messpunkte gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2008, mit der Maßnahme **M1** ca. 92 % bis 95 %, im Nullfall 2012 ca. 78 % bis 81 % und mit der Maßnahme **M2** ca. 72 % bis 74 % der Emissionen zu erwarten. Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die Reduktionen der NO_x-Emissionen ohne

Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen.

Die PM10-Emissionen weisen an den Straßenabschnitten der Messpunkte gegenüber dem Referenzzustand mit der Maßnahme **M1** ca. 96 % bis 97 %, im Nullfall 2012 ca. 93 % bis 96 % und mit der Maßnahme **M2** ca. 91 % bis 93 % der PM10-Emissionen auf. Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die wesentlichen Verringerungen der PM10-Emissionen ohne Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen.

Die Rußemissionen beschreiben überwiegend einen Teil der motorbedingten Partikelemissionen. Sie weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand mit der Maßnahme **M1** ca. 89 % bis 92 %, im Nullfall 2012 ca. 83 % bis 90 % und mit der Maßnahme **M2** ca. 76 % bis 84 % der Emissionen auf.

Die relativen Auswirkungen auf die Immissionen sind im Vergleich zu den Auswirkungen auf die Emissionen geringer, da auch nicht verkehrsbedingte und von außerhalb herangetragene Beiträge in den Immissionen enthalten sind.

Die berechneten NO₂-Immissionen an den Messstellen liegen bei allen betrachteten Fällen deutlich über dem Grenzwert von 40 µg/m³ und dem für das Jahr 2008 anzusetzenden Übergangsbeurteilungswert von 44 µg/m³. Gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2008, weisen die NO₂-Belastungen mit der Maßnahme **M1** 98 % bis 98.5 %, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 93.5 % bis 94.1 % und mit der Maßnahme **M2** 91.2 % bis 92.1 % der Gesamtbelastungen auf. Mit der Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 sind Minderungen der verkehrsbedingten NO₂-Beiträge zu erwarten, die allerdings entsprechend den Berechnungen an den betrachteten Straßenabschnitten nicht zur Einhaltung des ab 2010 geltenden Grenzwertes von 40 µg/m³ führen. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen also nur zu einer geringen Verringerung der NO₂-Gesamtbelastungen.

Die berechneten PM10-Immissionen an den Messstellen liegen bei allen betrachteten Fällen deutlich über 30 µg/m³ und damit über dem Schwellenwert zur Ableitung der PM10-Kurzzeitbelastung. Gegenüber dem Referenzzustand weisen die PM10-Belastungen mit der Maßnahme **M1** 98.7 % bis 99.5 %, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 97.4 % bis 98.3 % und

mit der Maßnahme **M2** 96.7 % bis 97.9 % der Gesamtbelastungen auf. Mit der Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 und mit den beschriebenen Maßnahmen der Kennzeichnungsverordnung sind also geringe Minderungen der verkehrsbedingten PM10-Beiträge zu erwarten.

Gegenüber dem Referenzzustand weisen die Rußimmissionen mit der Maßnahme **M1** 94.1 % bis 95.5 %, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 90.6 % bis 93.6 % und mit der Maßnahme **M2** 86.3 % bis 90.4 % der Gesamtbelastungen auf. Die Rußpartikelimmissionen werden durch die Maßnahmen intensiver verringert als die PM10-Immissionen.

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

2 AUFGABENSTELLUNG

Für den Entwurf des Luftreinhalteplans für den Regierungsbezirk Stuttgart, Teilplan Heilbronn (Stand April 2007), wurde eine Maßnahmeliste in Abstimmung mit Fachgremien erarbeitet, für die teilweise qualitative Einschätzungen der immissionsseitigen Auswirkungen vorliegen. Aktuelle Messdaten führten dazu, einen kombinierten Luftreinhalte-/Aktionsplan aufzustellen. Für folgende verkehrliche Maßnahmen sind immissionsseitige Berechnungen der zu erwartenden Minderungen der Immissionen durchzuführen.

- M1** Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Heilbronn (Umweltzone) ab dem 01.01.2008 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung

- M2** Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Heilbronn (Umweltzone) ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung

Die Berücksichtigung der Maßnahmen **M1** und **M2** erfolgt entsprechend dem aktuellen Entwurf der Kennzeichnungsverordnung. Die Bundesregierung hat im Oktober 2006 die Kennzeichnungsverordnung vorgelegt, die über die Ausgabe von Plaketten die Kfz hinsichtlich dem Schadstoffausstoß kennzeichnet. Diese Kennzeichnungsverordnung wurde im Juli 2007 ergänzt und liegt den Ausarbeitungen dieses Gutachtens zugrunde.

Für die Hauptverkehrsstraßen in Heilbronn sind die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen zu berechnen. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes von Heilbronn und Umgebung sind unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1 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.

Zu betrachten sind die Schadstoffe NO₂ und PM10 und ergänzend auch die Rußbelastungen.

3 EINGANGSDATEN UND EMISSIONSFAKTOREN

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

3.1 Lagedaten

Die Stadt Heilbronn liegt im nördlichen Bereich des Neckarbeckens. Der überwiegende Bereich der Siedlungsfläche ist in den durch das Neckartal geprägten niederen Bereichen gelegen. Das Relief steigt nach Osten zu den Löwensteiner Bergen und nach Westen zum Gäu bzw. zu Ausläufern des Heuchelberges an. Im Norden wird das Stadtgebiet von Heilbronn von der Autobahn A 6 in west-östlicher Richtung durchquert. Weiterhin wird das Stadtgebiet von folgenden Bundesstraßen durchfahren: B 27 in süd-nördlicher Richtung, B 39 in west-östlicher Richtung und die B 293 stößt aus westlicher Richtung in das Stadtgebiet.

Die Lage des Betrachtungsgebietes mit dem Stadtgebiet von Heilbronn ist in **Abb. 3.1** aufgezeigt. In den Plan ist auch die Lage der Umweltzone eingetragen.

3.2 Verkehr

Für die Betrachtungen der verkehrsbedingten Maßnahmen zum Luftreinhalte-/Aktionsplan Heilbronn wurden durch den Auftraggeber Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt. Das sind für das Plangebiet mit direkter Umgebung Angaben der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV) und des LKW-Anteils des Gesamtverkehrsplan 2005 der Stadt Heilbronn (Dr. Brenner, 2005). Die Verkehrsbelegungsdaten liegen als 4-Stundenwerte für Kfz und LKW für das Analysejahr 2003 sowie den Prognosehorizont 2010/2012 vor. Entsprechend den Angaben der Autoren der Verkehrsuntersuchung erfolgt die Hochrechnung auf die mittlere durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke mit dem Faktor 3.35 und auf 100 Fahrten aufgerundet; die Hochrechnung der mittleren täglichen LKW-Fahrten erfolgt in Relation zu typisierten Tagesganglinien und wird als LKW-Anteil ermittelt. Für die zu betrachtenden Bezugsjahre 2008 und 2012 werden jeweils die für den Zeithorizont 2010/2012 prognostizierten Verkehrsbelegungsdaten des Prognosenullfalls herangezogen; in dem Generalverkehrsplan diskutierte Netzerweiterungen (Saarlandstraße, Nordumfahrung Frankenbach) werden nicht berücksichtigt.

Die Verkehrsbelegungsdaten sind in **Abb. 3.2** aufgezeigt.

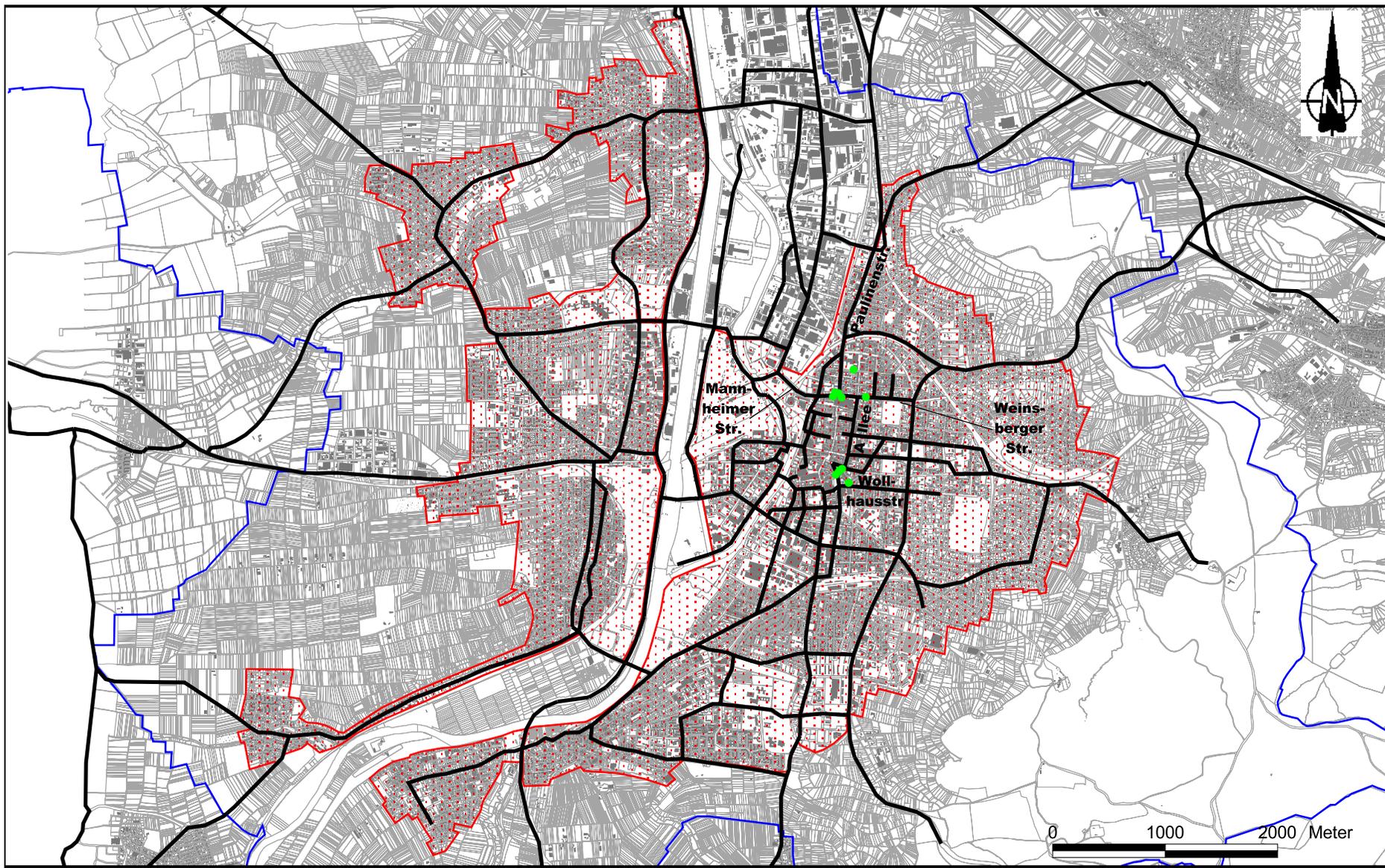


Abb. 3.1: Lageplan des Untersuchungsgebietes mit Standorten der Messstationen (grün).
Die Umweltzone ist rot, die Stadtgrenze blau eingetragen

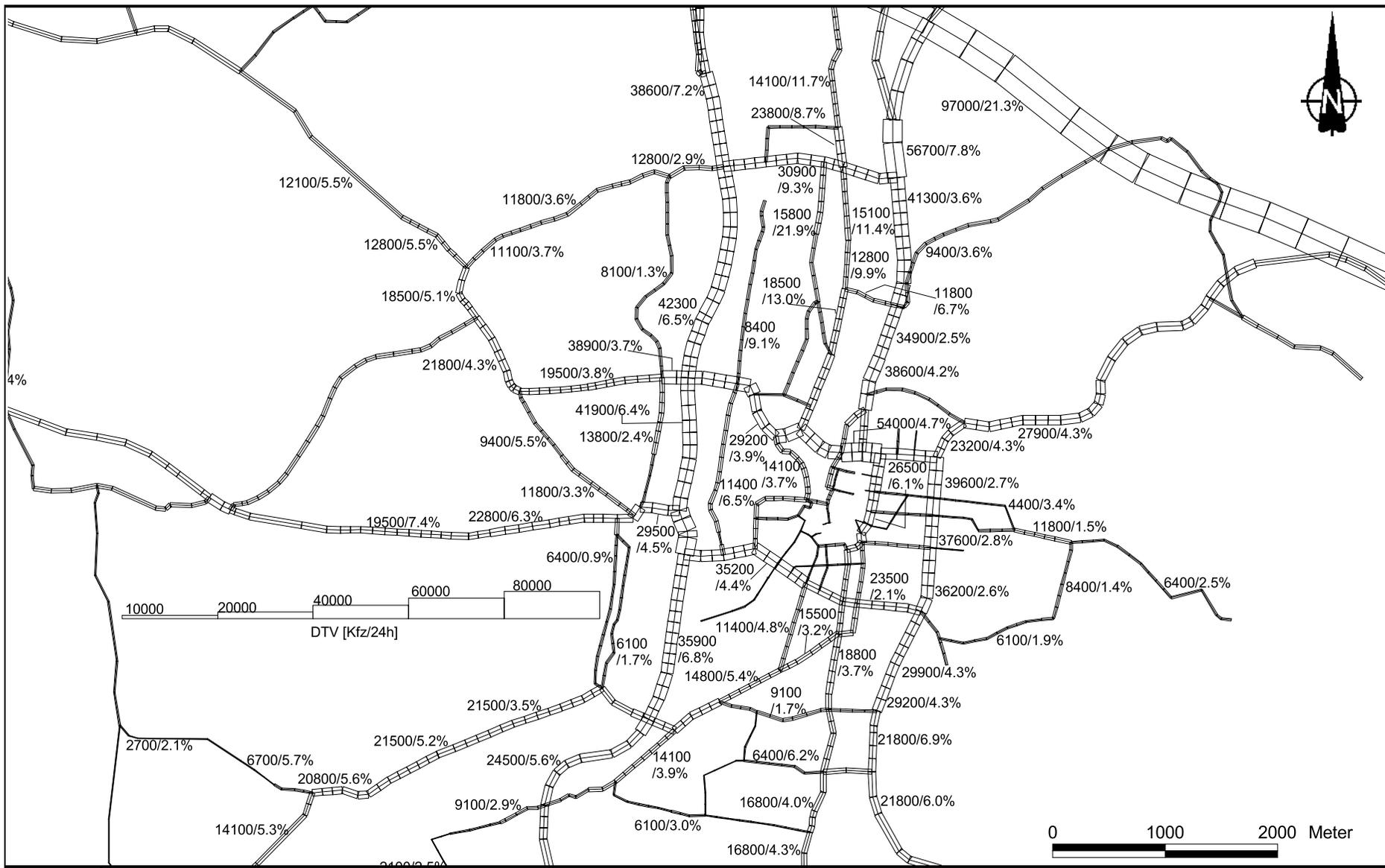


Abb. 3.2: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in [Kfz/24h] und LKW-Anteil in [%] auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet für die Nullfälle 2008, 2012 und die Maßnahmen M1, M2

Die oben erwähnten Verkehrsdaten für das Analysejahr 2003 werden nur zur Kontrolle verwendet, d.h. mit den Verkehrsdaten und den berechneten Emissionen für das Jahr 2006 werden die Immissionen an den Standorten der Messstationen berechnet und mit den Messdaten verglichen.

Alle betrachteten Maßnahmen und Nullfälle basieren auf den prognostizierten Verkehrsbelegungsdaten, d.h. gegenüber dem derzeitigen Zustand wird eine allgemeine Erhöhung der Verkehrsstärken berücksichtigt. Die beiden Nullfälle werden als Vergleichszustände angesehen und dienen dem relativen Vergleich zur Beschreibung der Wirkung der Maßnahmen.

Die Maßnahmen **M1** - Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Heilbronn (Umweltzone) ab dem 01.01.2008 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung - und **M2** – Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Heilbronn (Umweltzone) ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung – werden auf der Grundlage der Verkehrsdaten des jeweiligen Nullfalles berechnet. Dabei wird in dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass mit den Maßnahmen **M1** und **M2** die Anzahl der Fahrten nicht verändert wird, sondern nur die Fahrzeugflotte der Fahrten innerhalb der Umweltzone variiert.

In Heilbronn wurden in den letzten Jahren an ausgewählten Hauptverkehrsstraßen Immissionsmessungen durchgeführt, wobei die Standorte der Stationen teilweise variierten. Ein Standort befindet sich Am Wollhaus (SPOT Wollhaus), wobei die Messungen an der Randbebauung der Allee erfolgten. Ein weiterer Messschwerpunkt mit dem SPOT Paulinenstraße lag im Kreuzungsbereich Paulinenstraße, Mannheimer Straße und Weinsberger Straße. Damit wird der SPOT-Standort Paulinenstraße in drei Teilbereiche entsprechend den abgehenden Straßenabschnitten unterteilt. Diese sind bezeichnet mit Paulinenstraße, Mannheimer Straße und Weinsberger Straße West. In jüngster Zeit wird zudem an der Weinsberger Straße östlich der Allee gemessen. Für die Standorte der SPOT-Messstationen in Heilbronn und die entsprechenden Straßenabschnitten sind die Verkehrsbelegungsdaten ausgedrückt als Anzahl der Fahrzeuge pro Tag in **Abb. 3.3** aufgezeigt. Die Angabe der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke (DTV) beinhaltet alle Kfz; ergänzend ist die durchschnittliche tägliche Anzahl der LKW-Fahrten aufgeführt. Die Verkehrsdaten werden bei allen betrachteten Fällen unverändert angesetzt.

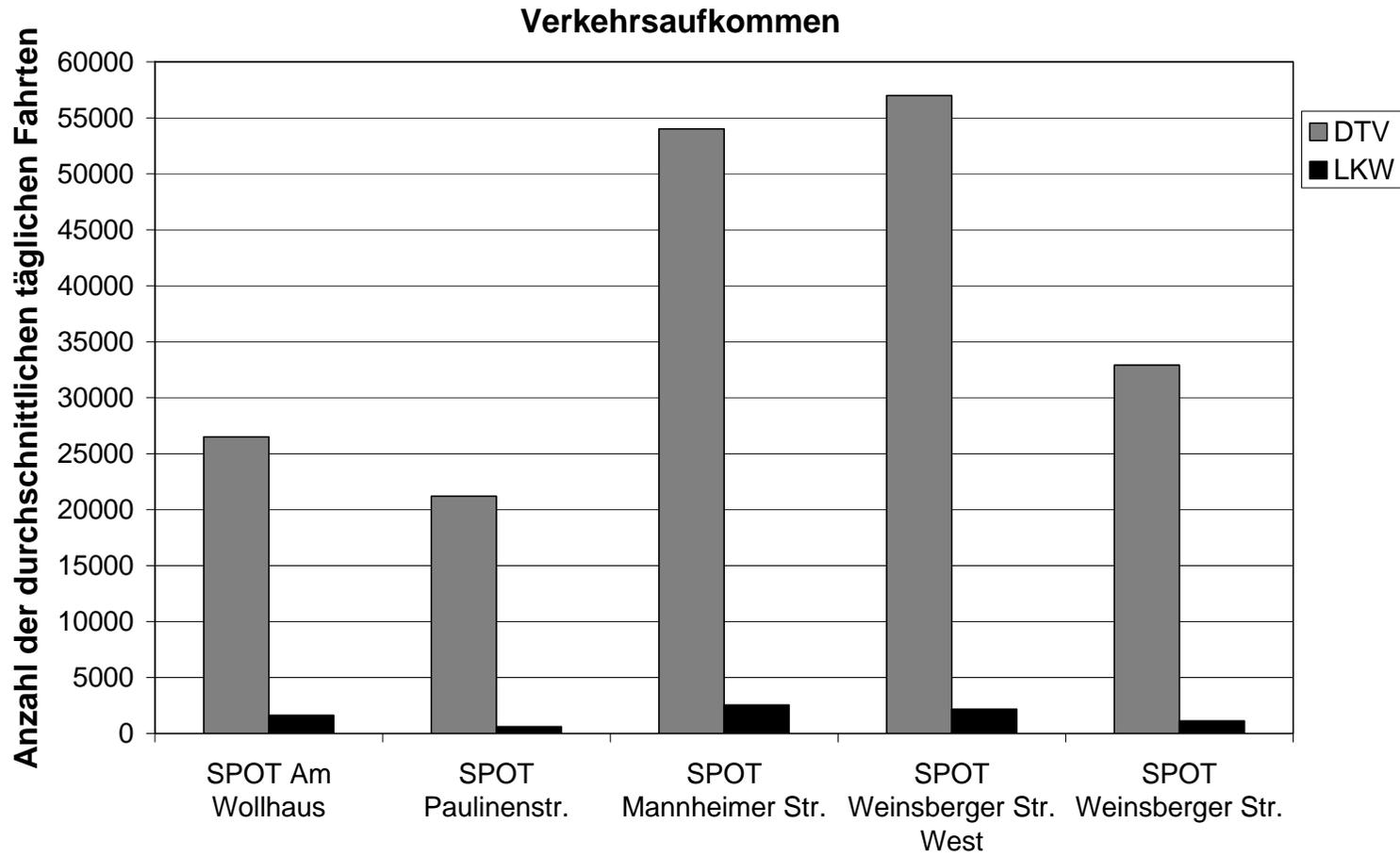


Abb. 3.3: Verkehrsbelegung an den SPOT-Messstationen in Heilbronn

3.3 Fahrzeugflotte

Die Zusammensetzungen der dynamischen Fahrzeugflotten, d.h. die Zusammensetzung der auf den Straßen verkehrenden Fahrzeuge, sind Angaben der LUBW für die Fahrzeugflotte von Baden-Württemberg, die weitgehend dem HBEFA entsprechen, für die zu betrachtenden Bezugsjahre 2008 und 2012 entnommen und für den innerörtlichen Bereich in **Abb. 3.4** aufgezeigt. Dabei ist zu beachten, dass die dynamische Fahrzeugflotte nicht direkt vergleichbar ist mit den Bestandszahlen für eine Region, die die statische Flottenzusammensetzung basierend auf den Zulassungszahlen angibt.

Der Anteil der dieselbetriebenen PKW-Fahrten umfasst im Jahr 2008 ca. 30.7 % und im Jahr 2012 ca. 36.4 %; der Anteil der dieselbetriebenen leichten Nutzfahrzeugfahrten umfasst im Jahr 2008 ca. 87.2 % und im Jahr 2012 ca. 88.2 %; bei den Bussen und schweren Nutzfahrzeugen setzen sich die Fahrten ausschließlich aus dieselbetriebenen zusammen.

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

Von den PKW-Fahrten sind im Jahr 2008 durch die Maßnahme **M1** ca. 5.3 % der Fahrten vom Fahrverbot betroffen, die sich zu ca. 3.4 % der Fahrten mit Ottomotoren und zu ca. 1.9 % der Fahrten mit Dieselmotoren zusammensetzen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 13.5 % der Lieferwagenfahrten und ca. 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 auf Fahrzeuge erfolgt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden. Bei den PKW-Fahrten ist nur ein kleiner Anteil der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Hier kann angenommen werden, dass diese Fahrten zum Teil durch Fahrten mit Fahrzeugen ersetzt werden, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind oder ganz entfallen. Aufgrund des geringen Anteils der möglicherweise entfallenden Fahrten wurde keine erneute Verkehrsumlegung durchgeführt. Für den PKW-Verkehr wird ebenfalls rechnerisch eine Änderung der Fahrzeugflotte durchgeführt.

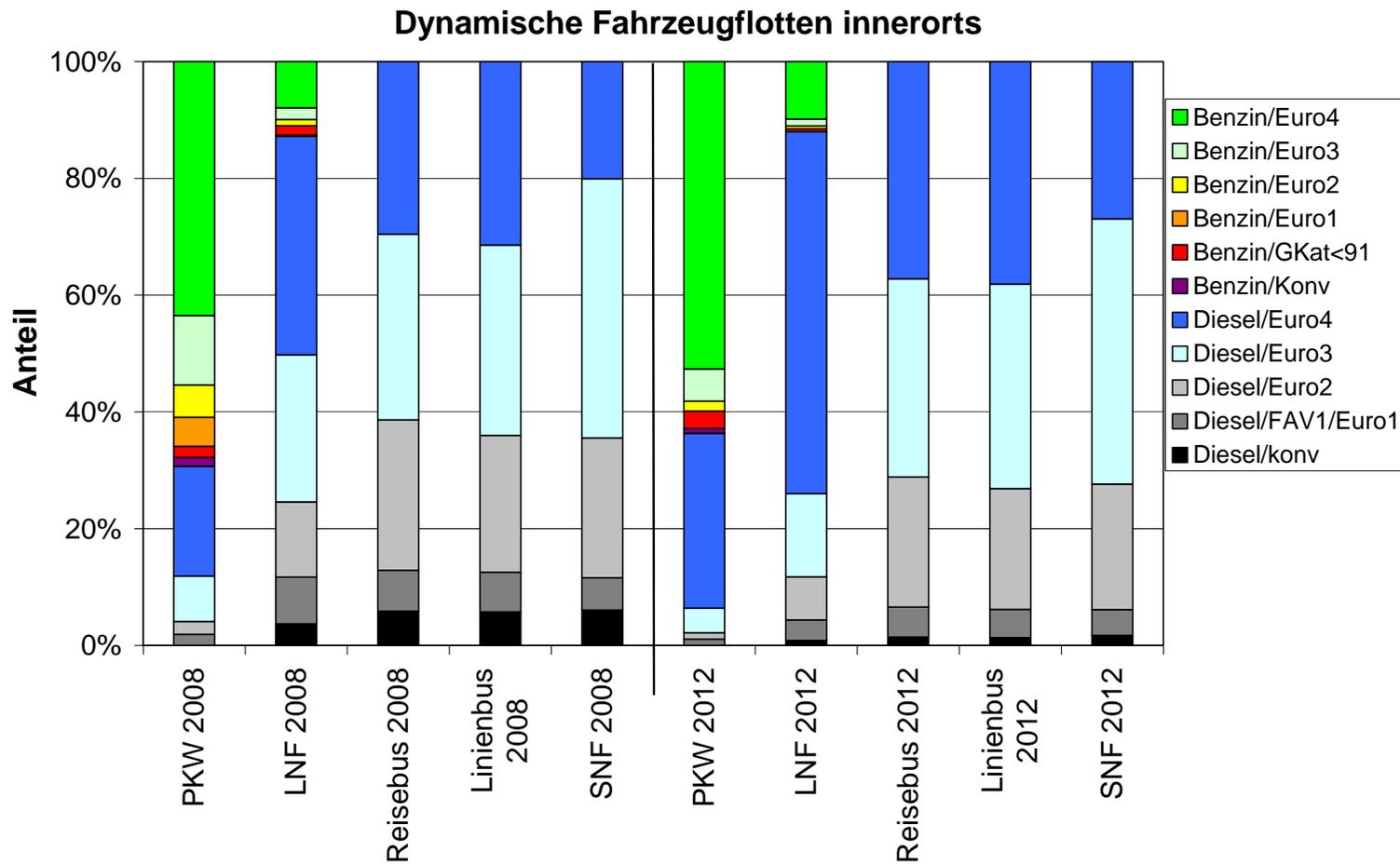


Abb. 3.4: Zusammensetzung der dynamischen Kfz-Flotte für die Jahre 2008 und 2012 entsprechend LUBW und HBEFA, unterteilt nach PKW, leichte Nutzfahrzeuge (LNF), Reisebusse, Linienbusse und schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

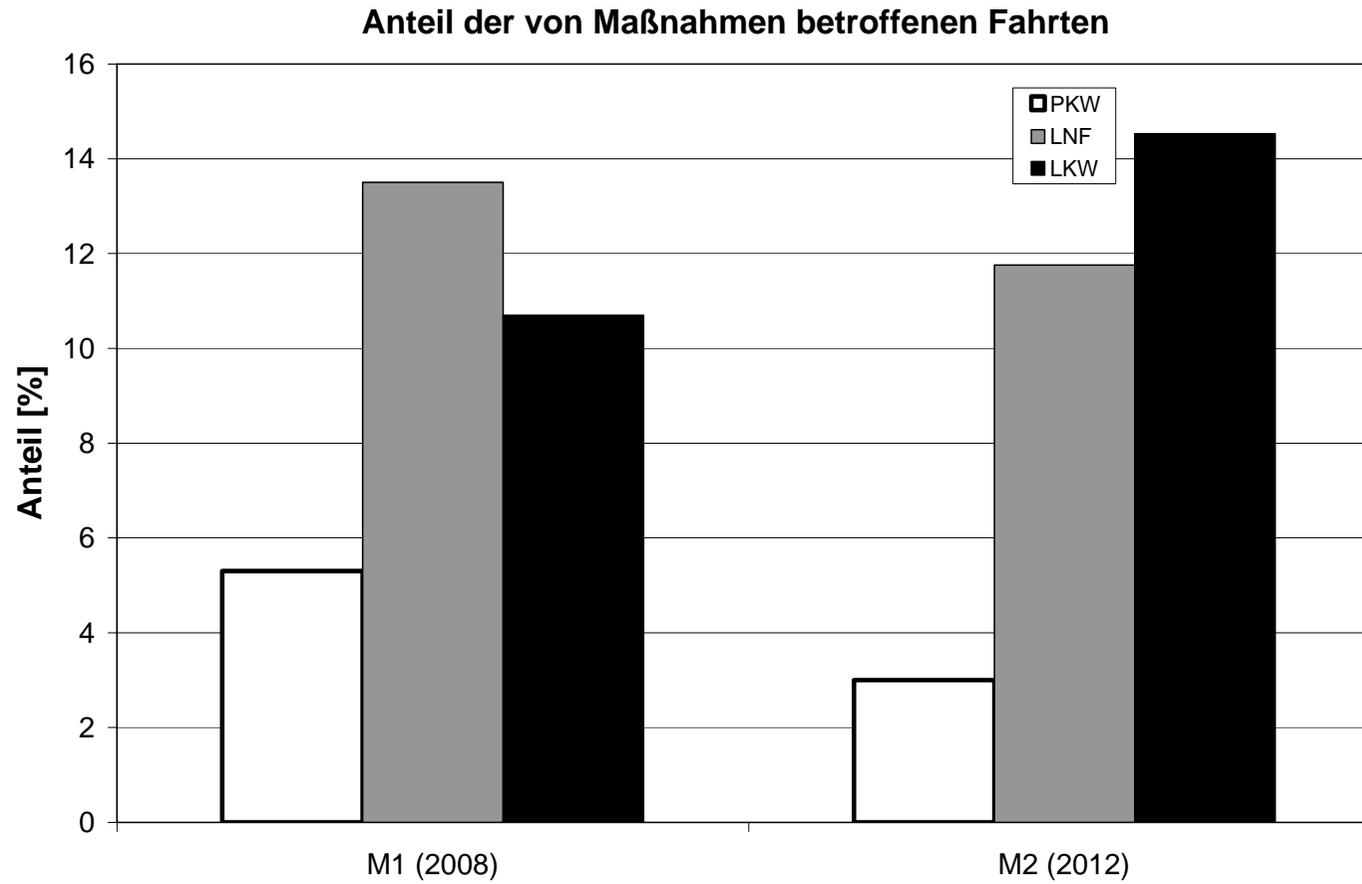


Abb. 3.5: Anteil der von den Fahrverboten der Maßnahmen M1 und M2 betroffenen Fahrten getrennt für PKW, Lieferwagen (LNF) und LKW

Von den PKW-Fahrten sind im Jahr 2012 durch die Maßnahme **M2** ca. 3 % der Fahrten vom Fahrverbot betroffen, die sich zu unter 0.8 % der Fahrten mit Ottomotoren und zu unter 2.2 % der Fahrten mit Dieselmotoren zusammensetzen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 11.8 % der Lieferwagenfahrten und ca. 14.5 % der LKW-Fahrten betroffen. Die rechnerische Umsetzung der Maßnahme M2 erfolgt wie bei Maßnahme M1 durch eine Änderung der Fahrzeugflotte und ohne Verringerung der Verkehrsstärken.

3.4 Emissionsfaktoren

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

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

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

3.4.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren

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

- den so genannten Verkehrssituationen („Fahrverhalten“), das heißt der Verteilung von Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung, Häufigkeit und Dauer von Standzeiten
- der sich fortlaufend ändernden Fahrzeugflotte (Anteil Diesel etc.),

- der Zusammensetzung der Fahrzeugschichten (Fahrleistungsanteile der Fahrzeuge einer bestimmten Gewichts- bzw. Hubraumklasse und einem bestimmten Stand der Technik hinsichtlich Abgasemission, z. B. EURO 2, 3, ...) und damit vom Jahr, für welches der Emissionsfaktor bestimmt wird (= Bezugsjahr),
- der Längsneigung der Fahrbahn (mit zunehmender Längsneigung nehmen die Emissionen pro Fahrzeug und gefahrenem Kilometer entsprechend der Steigung deutlich zu, bei Gefällen weniger deutlich ab) und
- dem Prozentsatz der Fahrzeuge, die mit nicht betriebswarmem Motor betrieben werden und deswegen teilweise erhöhte Emissionen (Kaltstarteinfluss) haben.

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

In der Studie „Auswirkungen neuer Erkenntnisse auf die Berechnungen der Partikel- und NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs“ (IFEU, 2004) wird u.a. auf aktualisierte Entwicklungen der dynamischen Fahrzeugflotte eingegangen. Danach werden im PKW-Verkehr verstärkt Fahrten mit Dieselmotoren durchgeführt. Die Autoren der Studie beziffern die Auswirkungen auf die NO_x-Emissionen der PKW und der leichten Nutzfahrzeuge für das Jahr 2005 mit einem Zuwachs um ca. 18 % und für das Jahr 2010 um ca. 21 %. Diese aktualisierten Informationen werden hier bei der Emissionsberechnung berücksichtigt.

3.4.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren

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

In der vorliegenden Untersuchung werden die PM10-Emissionen aus Abrieben (Reifen, Bremsen, Kupplung und Straßenbelag) und infolge der Wiederaufwirbelung (Resuspension) von Straßenstaub in Anlehnung an die in BASt (2005) sowie Düring und Lohmeyer (2004) beschriebene Vorgehensweise angesetzt. Es werden zur Berechnung der Emissionen für die Summe aus Reifen-, Brems-, Kupplungs- und Straßenabrieb sowie Wiederaufwirbelung von eingetragenem Straßenstaub die in **Tab. 3.1** und **Tab. 3.2** exemplarisch für die innerörtlichen Verkehrssituationen an den SPOT-Messstationen in Heilbronn 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 die Maßnahmen **M1** und **M2** werden für die Bezugsjahre 2008 und 2012 die Emissionsfaktoren geändert, indem die Fahrzeugflottenzusammensetzung variiert wird. Dabei wurden die Anteile der Fahrten herausgenommen, die vom jeweiligen Fahrverbot betroffen sind. Die entfallenen Fahrten werden anteilmäßig auf die restlichen Fahrten entsprechend der bestehenden Verteilung auf die Fahrzeugkonzepte verteilt. Damit wird die Fahrzeugflotte erneuert; durch die anteilmäßige Aufteilung entsprechend der vorliegenden Verteilung wird berücksichtigt, dass auch gebrauchte Fahrzeuge die entfallenen ersetzen, also nicht immer die neuste verfügbare Technik eingesetzt wird.

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

Verkehrssituation (Kürzel)	Geschwindigkeit [km/h]	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2008							
		NO _x		Partikel (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)		Ruß	
		PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
HVS3	39.1	0.284	6.958	0.04	0.38	0.00923	0.18339	0.01154	0.10536
HVS4	32	0.298	8.4	0.05	0.45	0.00956	0.24627	0.01174	0.13051
LSA2	28	0.311	8.495	0.05	0.45	0.01005	0.26222	0.01203	0.13689
LSA3	23.9	0.324	8.653	0.06	0.6	0.01054	0.28049	0.01233	0.1442
LSA3_2	23.9	0.314	8.92	0.06	0.6	0.01099	0.28093	0.01259	0.14437
M1-HVS3	39.1	0.249	6.855	0.04	0.38	0.00791	0.15292	0.01075	0.09317
M1-HVS4	32	0.262	8.294	0.05	0.45	0.00835	0.20322	0.01101	0.11329
M1-LSA2	28	0.273	8.398	0.05	0.45	0.00866	0.21479	0.01119	0.11791
M1-LSA3	23.9	0.284	8.564	0.06	0.6	0.00897	0.22799	0.01138	0.1232
M1-LSA3_2	23.9	0.274	8.819	0.06	0.6	0.00934	0.22951	0.01161	0.1238

Tab. 3.1: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an Hauptverkehrsstraßen an den SPOT-Messstationen von Heilbronn für das Bezugsjahr 2008 nach HBEFA für den Nullfall und für die Maßnahme **M1**

Verkehrssituation (Kürzel)	Geschwindigkeit [km/h]	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2012							
		NO _x		Partikel (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)		Ruß	
		PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
HVS3	39.1	0.248	5.059	0.04	0.38	0.00841	0.11388	0.01105	0.07755
HVS4	32	0.26	6.116	0.05	0.45	0.00877	0.15147	0.01126	0.09259
LSA2	28	0.271	6.2	0.05	0.45	0.00908	0.15977	0.01145	0.09591
LSA3	23.9	0.282	6.331	0.06	0.6	0.0094	0.1695	0.01164	0.0998
LSA3_2	23.9	0.274	6.51	0.06	0.6	0.00979	0.17075	0.01188	0.1003
M2-HVS3	39.1	0.228	4.625	0.04	0.38	0.00715	0.10069	0.01029	0.07228
M2-HVS4	32	0.24	5.602	0.05	0.45	0.00755	0.13392	0.01053	0.08557
M2-LSA2	28	0.249	5.688	0.05	0.45	0.00771	0.14042	0.01063	0.08817
M2-LSA3	23.9	0.258	5.817	0.06	0.6	0.00788	0.14808	0.01073	0.09123
M2-LSA3_2	23.9	0.25	5.976	0.06	0.6	0.0082	0.14944	0.01092	0.09177

Tab. 3.2: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an Hauptverkehrsstraßen an den SPOT-Messstationen von Heilbronn für das Bezugsjahr 2012 nach HBEFA für den Nullfall und für die Maßnahme **M2**

3.5 Meteorologische Daten

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

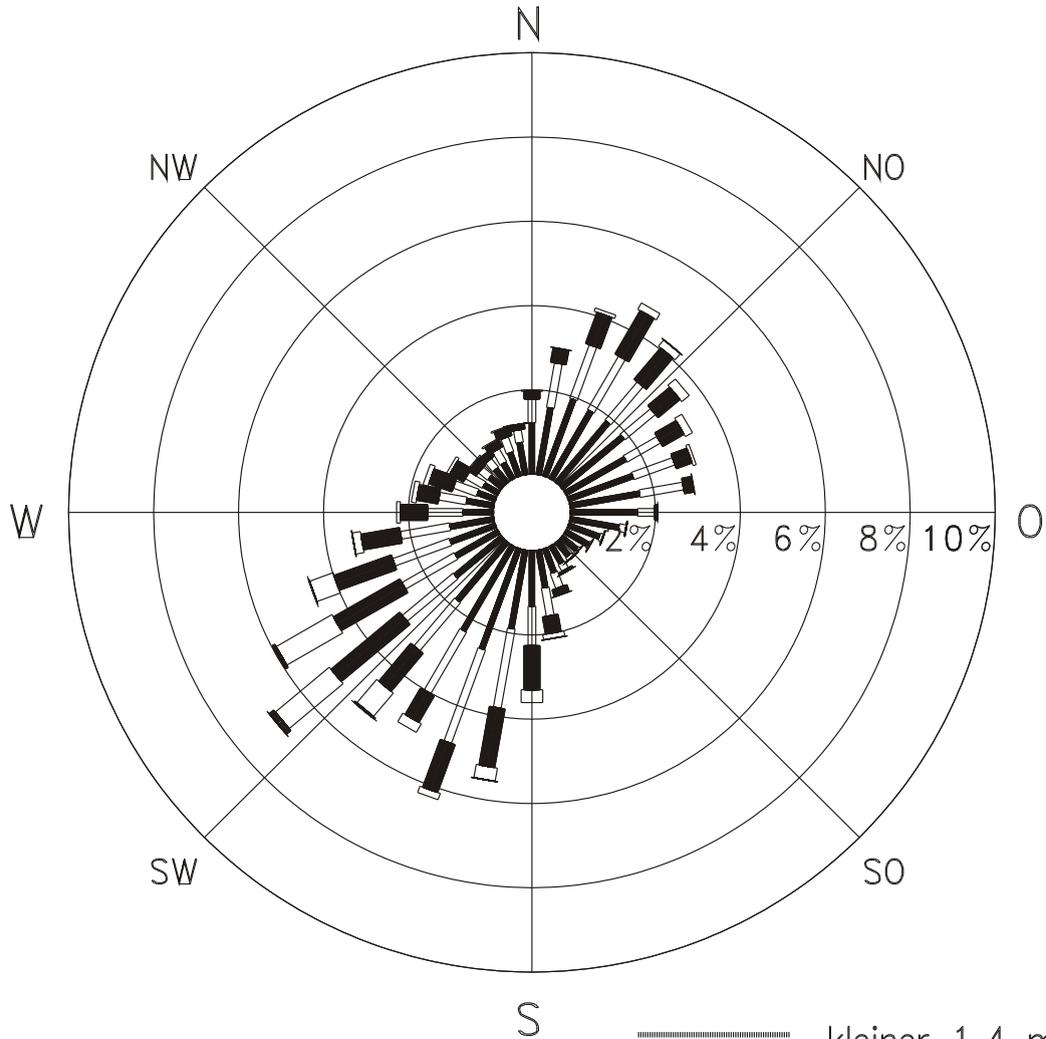
Im Stadtgebiet von Heilbronn werden an der Luftmessstation des Landesmessnetzes Baden-Württemberg an der Hans-Rießler-Straße auch Winddaten erfasst, die für die Betrachtungen im Innenstadtbereich herangezogen werden. Das betrifft die Stadtteile im Neckarbecken.

Die Windrose der Station Heilbronn ist in **Abb. 3.6** dargestellt. Die Hauptwindrichtung wird durch südwestliche Winde geprägt. Daneben tritt ein Nebenmaximum bei nordöstlichen Windrichtungen auf. Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit beträgt bedingt durch die städtischen Einflüsse ca. 1.9 m/s.

Die Übertragung der Ausbreitungsklassen erfolgt anhand der Daten vom Flughafen Stuttgart nach dem bei Kolb (1976) als Methode 2 bezeichneten Verfahren.

Für die westlich gelegenen Stadtteile Biberach, Frankenbach, Klingenberg und Kirchhausen werden lokalrepräsentative Windstatistiken herangezogen, da die genannten Stadtteile außerhalb des Neckarbeckens und des dicht bebauten Siedlungsgebietes gelegen sind. Im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) wurden synthetische Windrosen im 500 m Raster für Baden-Württemberg berechnet und in das Expertensystem Windstatistik eingegliedert (WSExpert). Die Windstatistiken sind im Internet abrufbar (www.LUBW.de). Daraus wurden die jeweiligen Statistiken für die genannten Stadtteile entnommen. Insgesamt sind dort gegenüber dem Innenstadtbereich von Heilbronn höhere mittlere jährliche Windgeschwindigkeiten bis 2.9 m/s angegeben, während die Hauptwindrichtungen in etwa mit denen von Heilbronn übereinstimmen. Die Übertragung der Ausbreitungsklassen auf die genannten synthetischen Windrosen erfolgt wie oben beschrieben.

Heilbronn



Station : Heilbronn
Höhe : 10 m
Messzeit : 1999–2002
mitt. Wg : 1.9 m/s

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



Abb. 3.6: Gemessene Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung an der Messstation Heilbronn

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 Heilbronn berechnet. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse konzentriert sich im Folgenden auf die Straßenabschnitte an den 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 2008 und 2012 jeweils ohne und mit Maßnahmen aufgeführt.

Die berechneten mittleren täglichen NO_x-Emissionen sind in **Abb. 4.1** (oben) und als relative Darstellungen bezogen auf die Emissionsmodellierung des Referenzzustandes, d.h. den Nullfall im Jahr 2008, in **Abb. 4.1** (unten) aufgezeigt.

Entsprechend der Verkehrsbelegung und dem LKW-Anteil zeigen sich bei den betrachteten Straßenabschnitten deutliche Unterschiede der Emissionen. Gegenüber dem Nullfall 2008 nehmen die NO_x-Emissionen im Jahr 2012 aufgrund der zeitlichen Entwicklung der Flottenzusammensetzung deutlich ab. Gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2008, sind mit der Maßnahme **M1** ca. 92 % bis 95 %, im Nullfall 2012 ca. 78 % bis 81 % und mit der Maßnahme **M2** ca. 72 % bis 74 % der Emissionen zu erwarten. Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die Reduktionen der NO_x-Emissionen ohne Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen.

Bei den Partikelemissionen wird die Summe aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ Beiträgen betrachtet. Gegenüber dem Referenzzustand, d.h. dem Nullfall 2008, sind an den betrachteten Straßenabschnitten mit der Maßnahme **M1** ca. 96 % bis 97 %, im Nullfall 2012 ca. 93 % bis 96 % und mit der Maßnahme **M2** ca. 91 % bis 93 % der PM10-Emissionen zu erwarten (**Abb. 4.2**). Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die wesentlichen Verringerungen der PM10-Emissionen ohne Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen. Bei den PM10-Emissionen ist zu beachten, dass der nicht motorbedingte Anteil durch die betrachteten Maßnahmen nur dann verringert würde, wenn auch die Verkehrsbelastung verringert würde; die Auswirkungen der

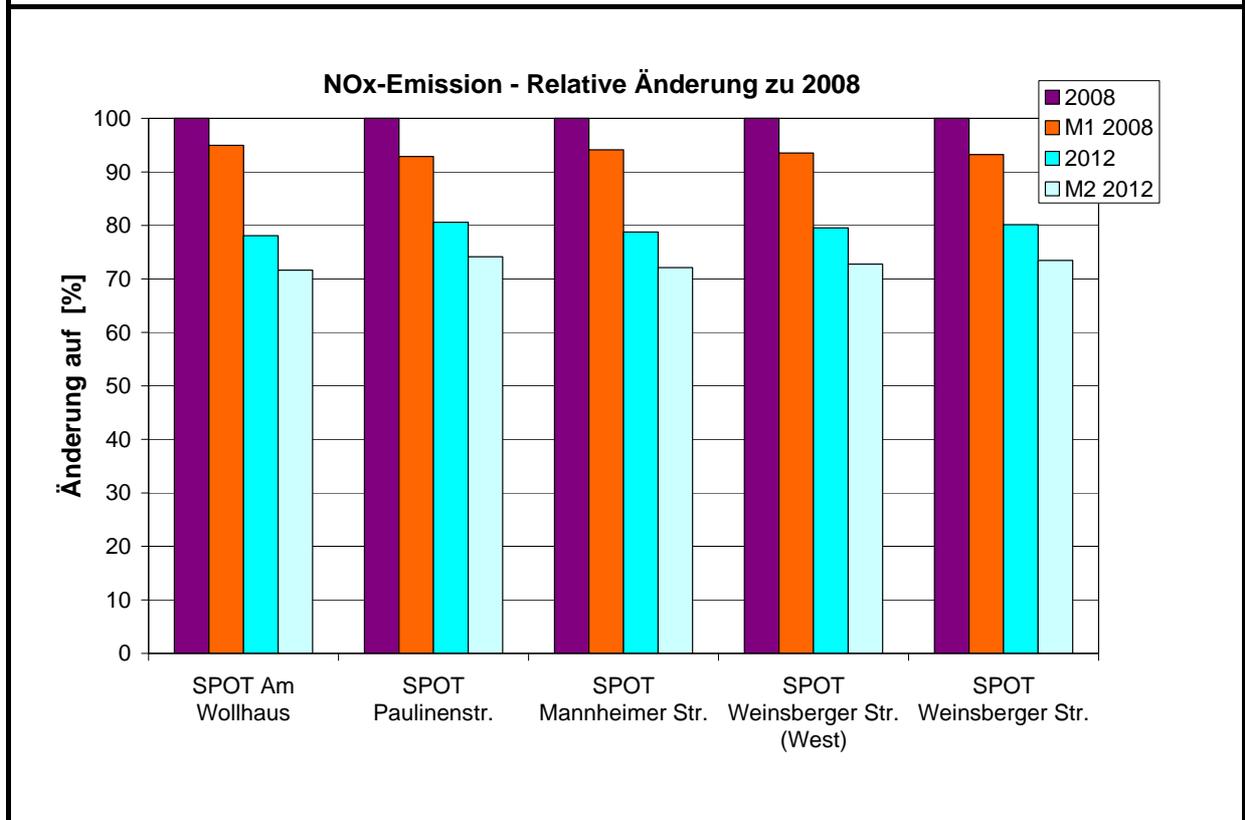
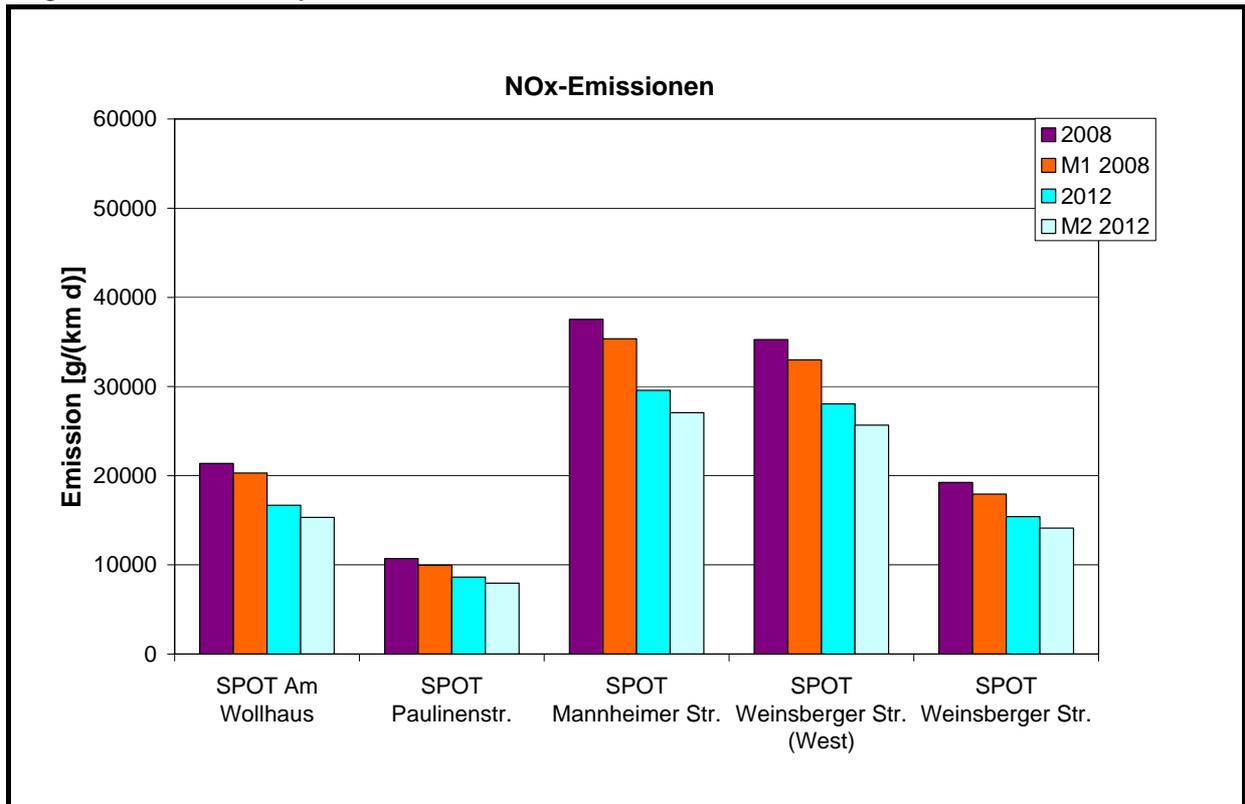


Abb. 4.1: NO_x - Emissionen an den SPOT-Messstellen in Heilbronn
 oben: Emissionen in [g/(km d)]
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008
 in %

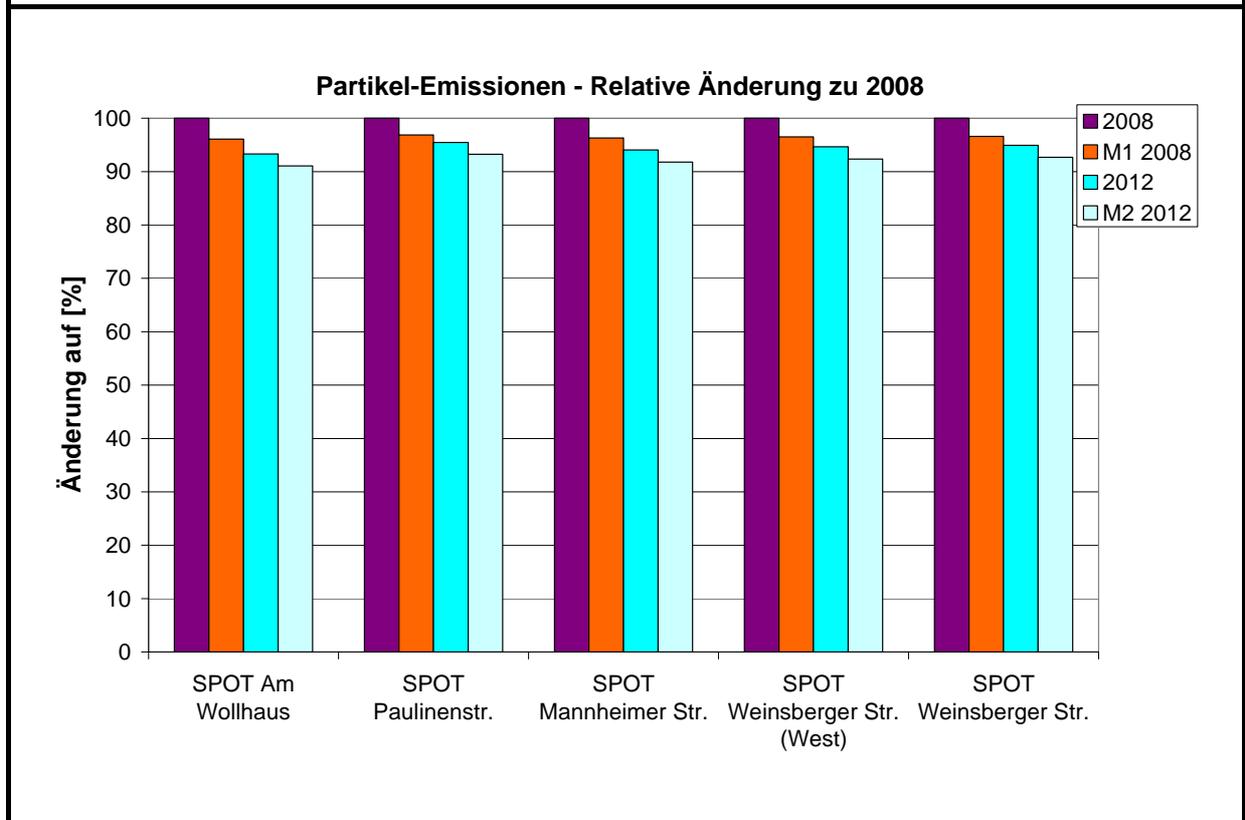
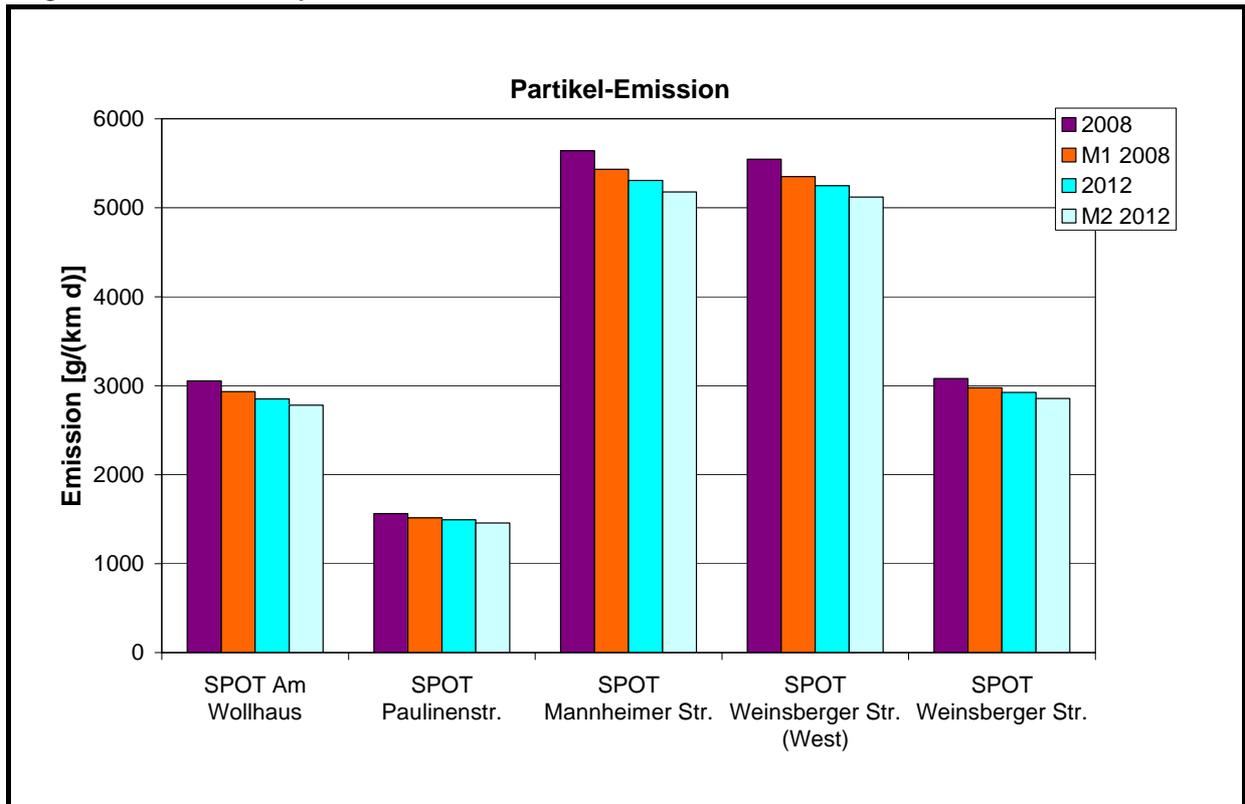


Abb. 4.2: PM10 - Emissionen an den SPOT-Messstellen in Heilbronn
 oben: Emissionen in [g/(km d)]
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008
 in %

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.

Zusätzlich werden auch die Rußemissionen betrachtet, da nur ein geringer Anteil dem Reifenabrieb zuzuordnen ist und der überwiegende Emissionsbeitrag des Kfz-Verkehrs durch die Motoremissionen verursacht wird. Die Rußemissionen weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2008, mit der Maßnahme **M1** ca. 89 % bis 92 %, im Nullfall 2012 ca. 83 % bis 90 % und mit der Maßnahme **M2** ca. 76 % bis 84 % der Emissionen auf (**Abb. 4.3**). Die Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer beschleunigten Flottenumstellung, wobei die wesentlichen Reduktionen der Rußemissionen ohne Maßnahmen bis zum Jahr 2012 allein durch die Flottenumstellungen größer sind als die Wirkungen der Maßnahmen.

Ergänzend wurden die Gesamtemissionen des betrachteten Hauptverkehrsstraßennetzes (vgl. Abb. 3.1) innerhalb der Stadtgrenze berechnet. Darin sind neben den innerstädtischen Straßen auch die zuführenden Bundesstraßen und die Autobahn A 6 enthalten. Danach werden für den Nullfall 2008 jährliche NO_x-Emissionen von 775.2 Tonnen pro Jahr, für Partikelemissionen ca. 71.8 Tonnen pro Jahr und für Ruß ca. 15.2 Tonnen pro Jahr berechnet.

Mit der Maßnahme **M1** werden die verkehrsbedingten Emissionen auf dem betrachteten Straßennetz für NO_x um ca. 12.1 Tonnen pro Jahr, für Partikel um ca. 0.9 Tonnen pro Jahr und für Ruß um ca. 0.4 Tonnen pro Jahr verringert.

Gegenüber dem Nullfall 2008 sind im Nullfall 2012 die verkehrsbedingten Emissionen auf dem betrachteten Straßennetz für NO_x um ca. 204 Tonnen pro Jahr, für Partikel um ca. 5.8 Tonnen pro Jahr und für Ruß um ca. 2.5 Tonnen pro Jahr verringert.

Gegenüber dem Nullfall 2008 werden mit der Maßnahme **M2** im Jahr 2012 die verkehrsbedingten Emissionen auf dem betrachteten Straßennetz für NO_x um ca. 216 Tonnen pro Jahr, für Partikel um ca. 6.4 Tonnen pro Jahr und für Ruß um ca. 2.8 Tonnen pro Jahr verringert.

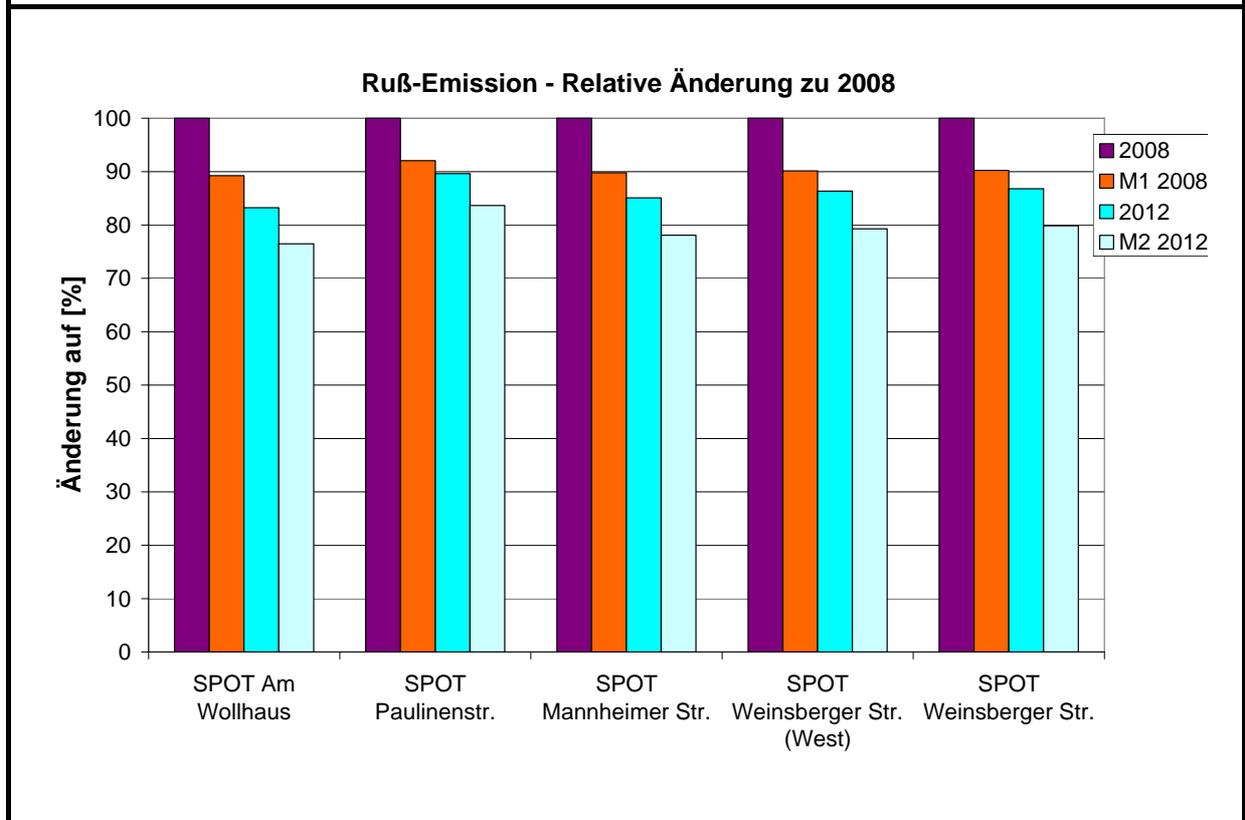
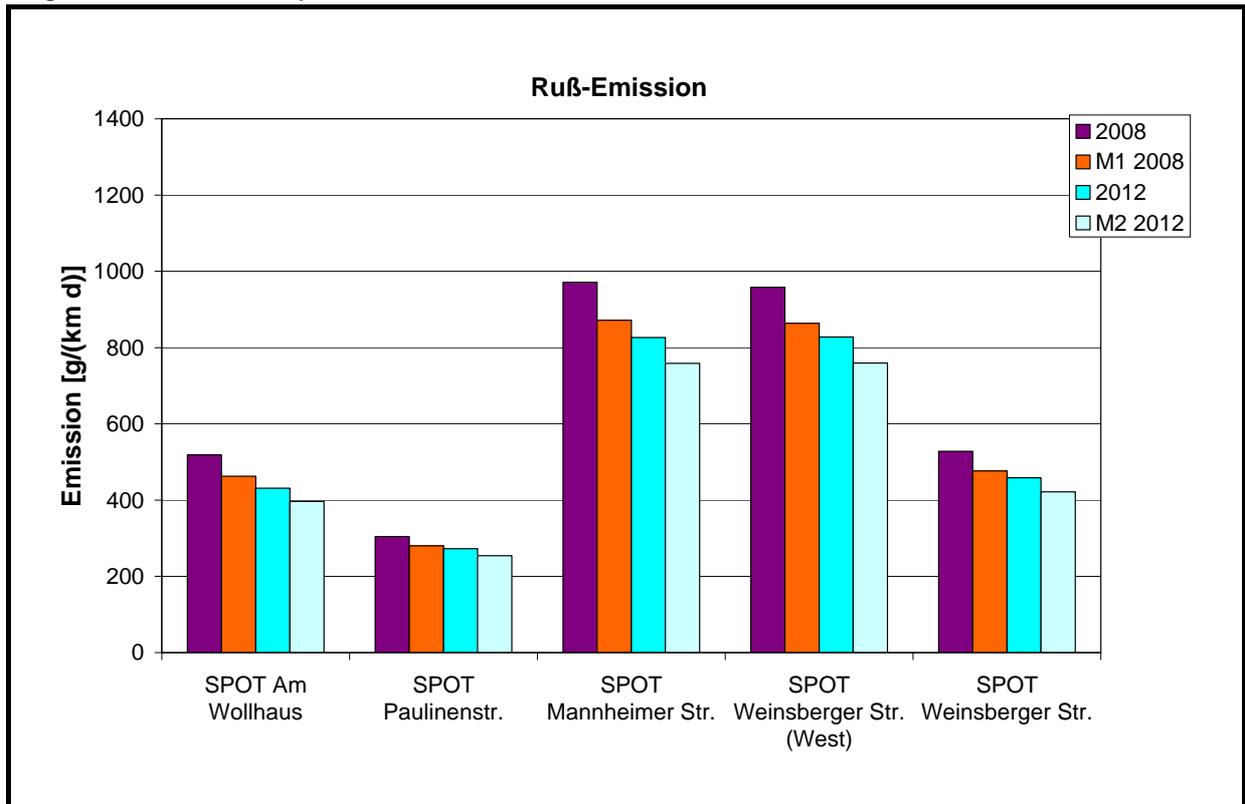


Abb. 4.3: Ruß - Emissionen an den SPOT-Messstellen in Heilbronn
 oben: Emissionen in [g/(km d)]
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008
 in %

4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen

Seit 2004 werden in Heilbronn neben der Landesmessstelle Heilbronn auch Messdaten an der innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen erfasst. Das sind die SPOT-Messstellen „Am Wollhaus“ und „Paulinenstraße“ (Kreuzung Paulinenstraße/Mannheimer Straße/Weinsberger Straße); dabei wurden an diesen Standorten mehrere Messgeräte in unterschiedlichen Abständen zueinander betrieben. **Tab. 4.1** zeigt eine Zusammenstellung der Messdaten in Heilbronn für die Straßenmesspunkte und die Landesmessstelle. Die Messpunkte „Am Wollhaus“ MP1 bis MP4 liegen am westlichen Straßenrand in unterschiedlichen Abständen zur Fahrbahn bzw. Bebauung; der Messpunkt MP5 liegt in der Gymnasiumstrasse, d.h. östlich in größerem Abstand zur Hauptverkehrsstraße und ist als Hintergrundmesspunkt aufzufassen. Die Messpunkte „Paulinenstraße“ decken den Kreuzungsbereich Paulinenstraße/Mannheimer Straße/Weinsberger Straße ab. MP2 liegt an der Westseite der Paulinenstraße, MP3 und MP4 nördlich und südlich an der nach Westen orientierten Mannheimer Straße und MP1 südlich an der nach Osten orientierten Weinsberger Straße.; der Messpunkt MP5 liegt in der Sichererstrasse, d.h. nordöstlich in größerem Abstand zur Kreuzung und ist als Hintergrundmesspunkt aufzufassen. Seit 2006 ist der Messpunkt Weinsberger Straße hinzugekommen, der an der Weinsberger Straße östlich des Kreuzungsbereiches mit der Paulinenstraße und auch östlich des Kreuzungsbereichs mit der Allee gelegen ist.

Im Jahr 2007 wurden bis Ende Juni am SPOT-Weinsberger Straße 15 Überschreitungstage mit einem Tagesmittelwert über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erfasst (LUBW, 2007).

Für die Anwendung der vorgestellten Emissionsermittlung und der darauf aufbauenden möglichen Maßnahmen werden Ausbreitungsrechnungen mit dem Berechnungsverfahren PROKAS und dem Bebauungsmodul PROKAS_B durchgeführt. Die in den Berechnungen anzusetzende Hintergrundbelastung wird aus dem Vergleich der Berechnungs- und Messergebnisse des Stadtbereichs abgeleitet und dann auf den verkehrsbeeinflussten Stationsstandort 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 Rechen-

2004	NO₂-I1 [µg/m³]	PM10-I1 [µg/m³]	PM10-Überschreitung [Anzahl]	Ruß-I1 [µg/m³]
Heilbronn	24	24	16	3.4
SPOT Paulinenstr MP2	69	-	-	3.9
SPOT Paulinenstr MP1	84	-	-	-
SPOT Paulinenstr MP3	65	-	-	-
SPOT Paulinenstr MP4	71	-	-	-
SPOT Paulinenstr MP5, Hint.	37	-	-	2.0
SPOT Am Wollhaus MP4	53	-	-	3.0
SPOT Am Wollhaus MP1	60	-	-	-
SPOT Am Wollhaus MP2	67	-	-	-
SPOT Am Wollhaus MP3	64	-	-	-
SPOT Am Wollhaus MP5, Hint.	40	-	-	2.1
2005	NO₂-I1 [µg/m³]	PM10-I1 [µg/m³]	PM10-Überschreitung [Anzahl]	Ruß-I1 [µg/m³]
Heilbronn	33	26	22	-
SPOT Paulinenstr MP2	71	-	-	4.6
SPOT Paulinenstr MP1	87	-	-	-
SPOT Paulinenstr MP3	67	-	-	-
SPOT Paulinenstr MP4	75	-	-	-
SPOT Paulinenstr MP5, Hint.	39	-	-	2.4
2006	NO₂-I1 [µg/m³]	PM10-I1 [µg/m³]	PM10-Überschreitung [Anzahl]	Ruß-I1 [µg/m³]
Heilbronn	24	24	16	-
SPOT Am Wollhaus MP6	57	32	44	-
SPOT Weinsberger Str. MP1	72	38	60	-

Tab. 4.1: Messdaten 2004, 2005 und 2006 an den Messspunkten in Heilbronn. I1 = Jahresmittelwert, PM10-Überschreitung = Anzahl der Tage über 50 µg/m³, Hint. = Hintergrund.

Verfahrens mit detaillierter Berücksichtigung der Gebäudeumströmungen erforderlich. Der SPOT-Standort Paulinenstraße wird in drei Teilbereichen entsprechend den abgehenden Straßenabschnitten in den Berechnungen behandelt, sodass drei Rechenwerte erzeugt werden. Diese sind bezeichnet mit Paulinenstraße, Mannheimer Straße und Weinsberger Straße West.

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

	NO₂-I1 [µg/m ³]	PM10-I1 [µg/m ³]	Ruß-I1 [µg/m ³]
SPOT Am Wollhaus MP4	53	35	3.9
SPOT Paulinenstr. MP2	59	42	5.1
SPOT Mannheimer Str. MP4	58	40	4.8
SPOT Weinsberger Str. (West) MP1	61	44	5.5
SPOT Weinsberger Str.	55	38	4.4
Am Wollhaus MP5 (Hint.)	42	29	2.8
Paulinenstr. MP5 (Hint.)	40	28	2.6

Tab. 4.2: Berechnete Immissionen an den Straßenmessstationen in Heilbronn

Die berechneten Belastungen weisen an den Messstationen insofern zufriedenstellende Übereinstimmungen mit den Messdaten auf, als an den Straßenmessstationen Überschreitungen des ab 2010 geltenden NO₂-Grenzwertes von 40 µg/m³ und auch des für 2006 geltenden Übergangsbeurteilungswertes von 48 µg/m³ gemessen und berechnet werden. Die sehr hohen Messwerte werden jedoch nicht erreicht. In diesem Zusammenhang werden in den letzten Jahren Modifizierungen der NO-NO₂-Umwandlung in verkehrsnahen Bereichen beobachtet und diskutiert. Die in Anhang A2 beschriebene Vorgehensweise bei den vorliegenden Berechnungen wurde zwar durch Datenauswertungen der letzten Jahre bestätigt (Bächlin et al., 2006), kann aber u.a. zu der Unterschätzung der NO₂-Immissionen führen. Aktuelle Datenauswertungen zeigen einen Anstieg des NO₂/NO_x-Verhältnisses an verkehrsnahen Stationen und werden u.a. auf erhöhte direkte NO₂-Freisetzungen des Kfz-Verkehrs zurückgeführt (Kessler et al., 2007). Detaillierte Angaben der NO₂-Emission in vergleichbarer Qualität zu den Emissionsdaten bekannter Stoffe liegen noch nicht vor und konnten dementsprechend in den vorliegenden Berechnungen nicht berücksichtigt werden.

Entsprechend den Anforderungen der 22. BImSchV an die Genauigkeit der Modellrechnungen wird für die Messstationen in Heilbronn diese Anforderung eingehalten.

Mit der selben Vorgehensweise werden basierend auf den prognostizierten Verkehrsbelegungsdaten für die zu betrachtenden Jahre 2008 und 2012 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 zeitlichen Entwicklungen der Kfz-Flotte auf die Gesamtbelastungen zu beschreiben. Am Kreuzungsbereich Paulinenstraße/Mannheimer

Straße wird in der Verkehrsprognose gegenüber dem derzeitigen Zustand eine modifizierte Verkehrsführung berücksichtigt, die zu höheren Verkehrsbelegungen auf der Mannheimer Straße und verringerten Verkehrsbelegungen auf der Paulinenstraße führt. Damit sind am Messpunkt Mannheimer Straße gegenüber dem derzeitigen Zustand höhere Immissionen berechnet.

In **Abb. 4.4** (oben) sind die berechneten Jahresmittelwerte für NO_2 und in **Abb. 4.4** (unten) die relativen Änderungen der berechneten NO_2 -Immissionen für die Jahre 2008 und 2012 sowie für die Maßnahmen **M1** und **M2** bezogen auf den Nullfall 2008 aufgezeigt. Im Anhang A2 sind die berechneten Immissionen für die betrachteten Hauptverkehrsstraßen in Heilbronn grafisch dargestellt. Für den Nullfall 2008 werden an den SPOT-Messstationen Konzentrationen über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und damit überwiegend vergleichbare Immissionen gegenüber dem derzeitigen Zustand berechnet. Gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2008, weisen die NO_2 -Belastungen an den straßennahen Standorten mit der Maßnahme **M1** 98 % bis 98,5 %, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 93,5 % bis 94,1 % und mit der Maßnahme **M2** 91,2 % bis 92,1 % der Gesamtbelastungen auf. Mit der Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 sind Minderungen der verkehrsbedingten NO_2 -Beiträge zu erwarten, die allerdings entsprechend den Berechnungen an den betrachteten Straßenabschnitten nicht zur Einhaltung des ab 2010 geltenden Grenzwertes von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ führen. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen nur zu einer geringen Verringerung der NO_2 -Gesamtbelastungen.

Die prognostizierten PM_{10} -Immissionen sind in **Abb. 4.5** aufgezeigt. Für den Nullfall 2008 werden an den SPOT-Messstationen PM_{10} -Konzentrationen über $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und damit überwiegend vergleichbare Immissionen mit dem derzeitigen Zustand berechnet. Gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2008, weisen die PM_{10} -Belastungen an den straßennahen Standorten mit der Maßnahme **M1** 98,7 % bis 99,5 %, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 97,4 % bis 98,3 % und mit der Maßnahme **M2** 96,7 % bis 97,9 % der Gesamtbelastungen auf. Mit der Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 und mit den beschriebenen Maßnahmen der Kennzeichnungsverordnung sind geringe Minderungen der verkehrsbedingten PM_{10} -Beiträge zu erwarten.

Für die Ableitung des PM_{10} -Kurzzeitbelastungswertes, d.h. der Überschreitung eines PM_{10} -Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an mehr als 35 Tagen pro Jahr, werden in der Fachliteratur Schwellenwerte der PM_{10} -Jahresmittelwerte genannt. So wurde im Rahmen eines For-

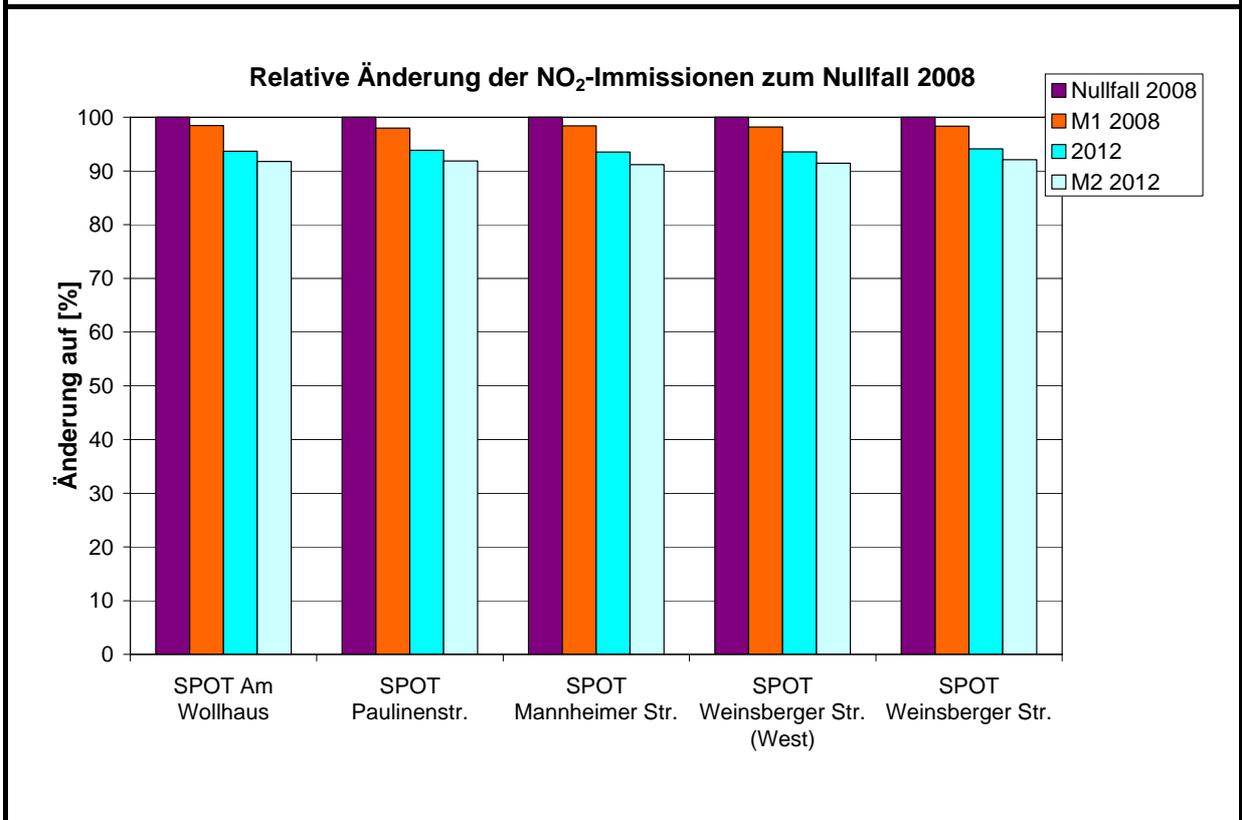
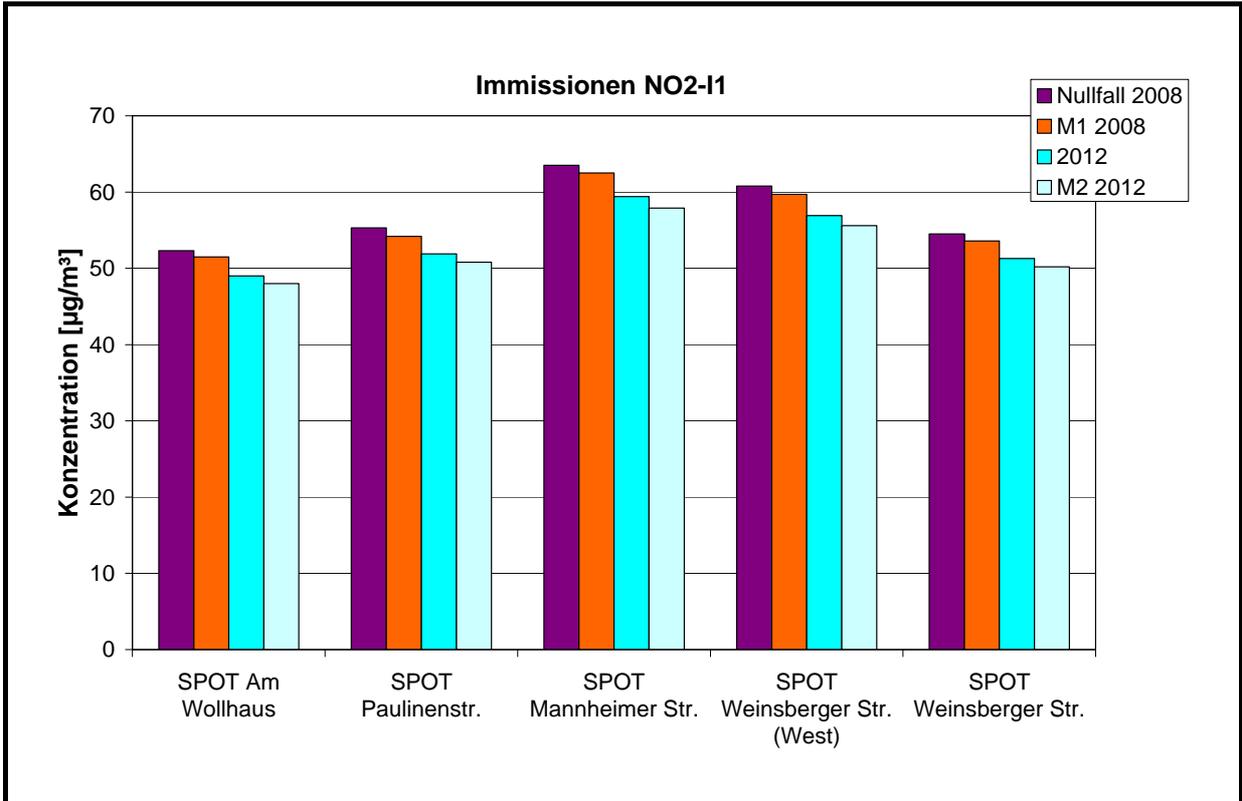


Abb. 4.4: NO₂ - Immissionen an den SPOT-Messstellen in Heilbronn
 oben: Immissionen in [µg/m³]
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008
 in %

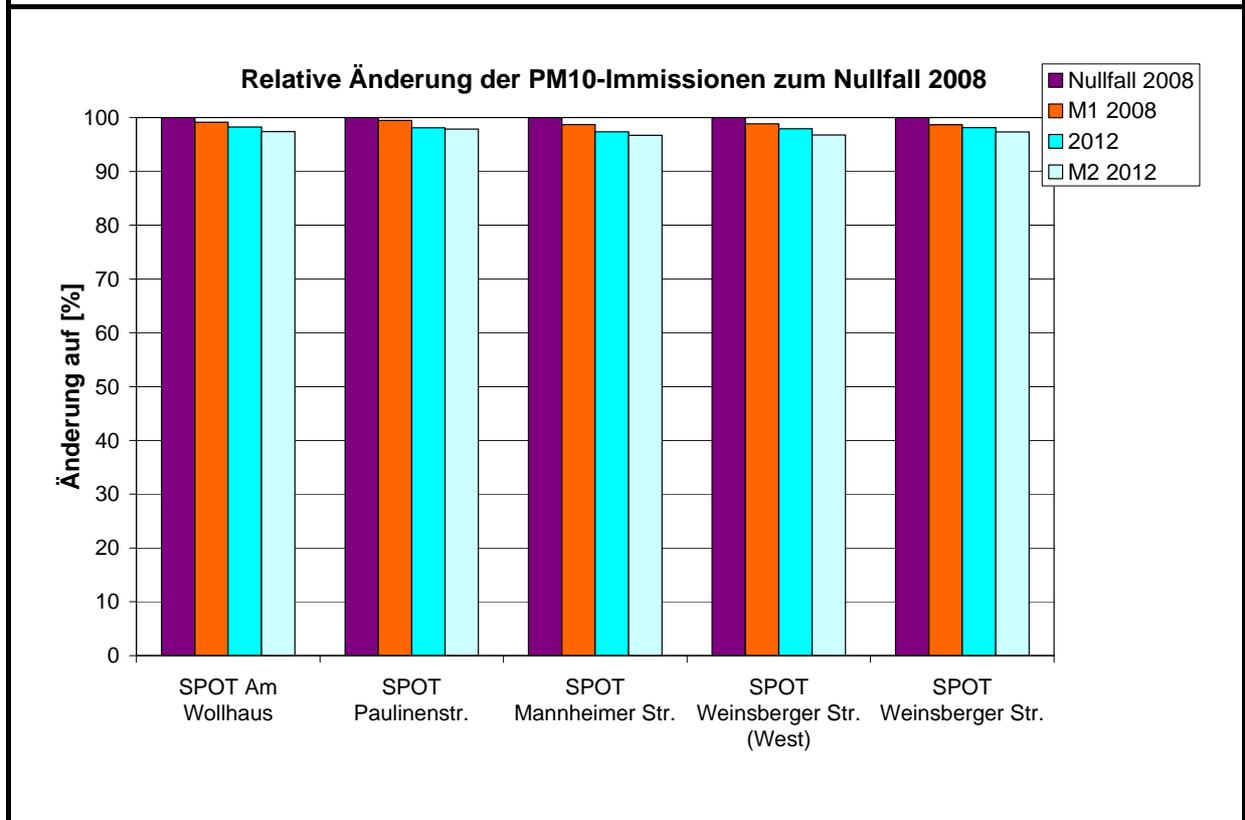
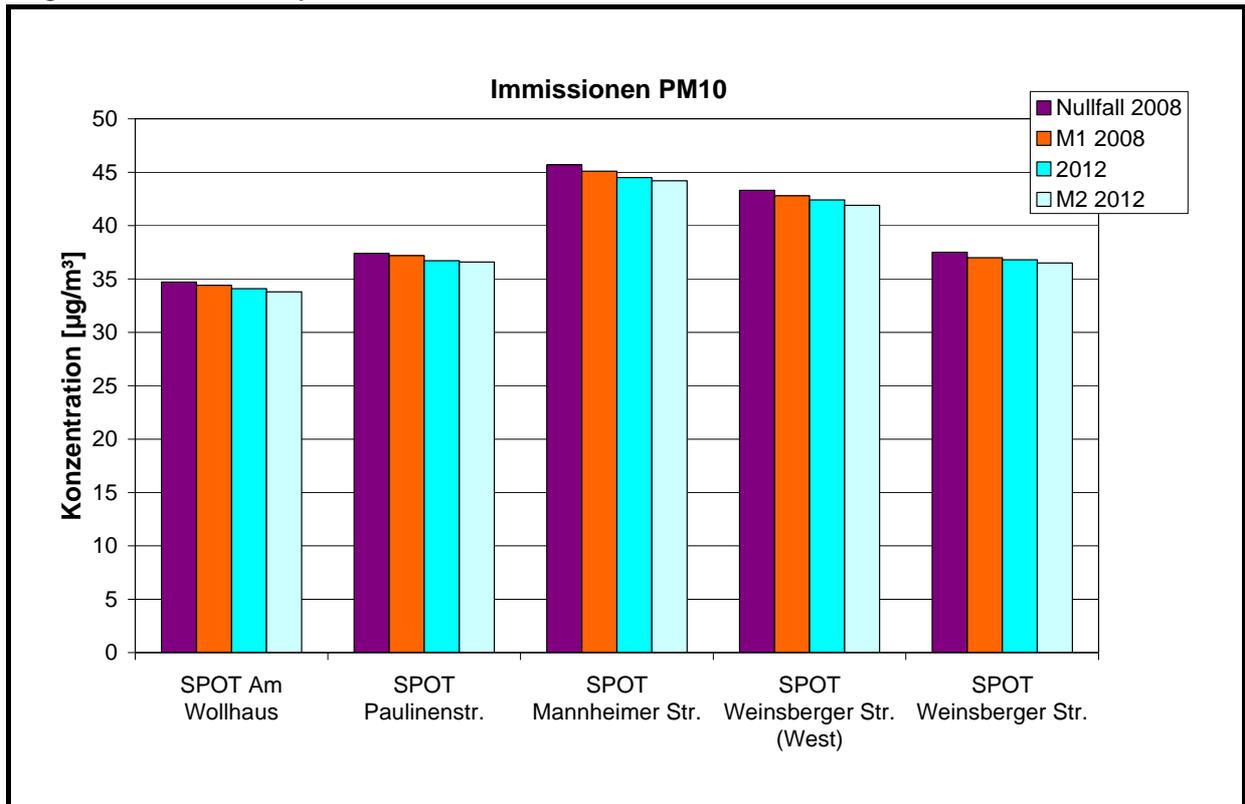
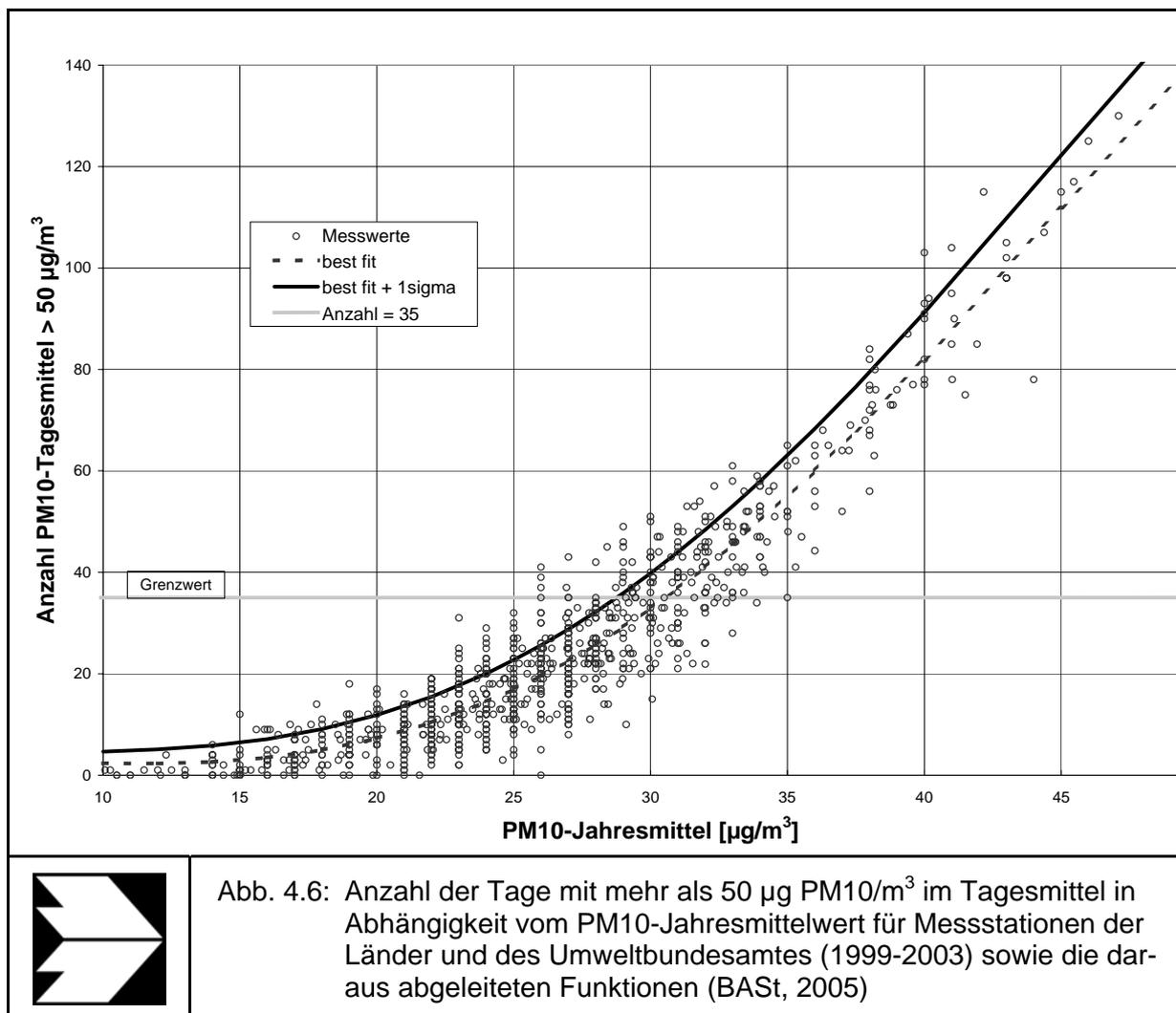


Abb. 4.5: PM10 - Immissionen an den SPOT-Messstellen in Heilbronn
 oben: Immissionen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008
 in %

schungsprojektes für die Bundesanstalt für Straßenwesen aus 914 Messdatensätzen aus den Jahren 1999 bis 2003 eine gute Korrelation zwischen der Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittelwerten größer als $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und dem PM10-Jahresmittelwert gefunden (**Abb. 4.6**). Daraus wurde eine funktionale Abhängigkeit der PM10-Überschreitungshäufigkeit vom PM10-Jahresmittelwert abgeleitet (BASt, 2005). Die Regressionskurve nach der Methode der kleinsten Quadrate („best fit“) und die mit einem Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöhte Funktion („best fit + 1 sigma“) sind ebenfalls in der **Abb. 4.6** dargestellt. Mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Grenzwert) werden mit diesem Ansatz unter Berücksichtigung des Sicherheitszuschlags für PM10-Jahresmittelwerte ab $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abgeleitet.



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

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

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

Ergänzend zu den Feinstaubbelastungen werden auch die Auswirkungen auf die Rußbelastungen in **Abb. 4.7** aufgezeigt. Für den Nullfall 2008 werden an den SPOT-Messstationen Konzentrationen zwischen $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und damit überwiegend leicht verringerte Immissionen gegenüber dem derzeitigen Zustand berechnet. Gegenüber dem Referenzzustand, dem Nullfall 2008, weisen die Rußimmissionen an den straßennahen Standorten mit der Maßnahme **M1** 94.1 % bis 95.5 %, im Jahr 2012 ohne Maßnahmen 90.6 % bis 93.6 % und mit der Maßnahme **M2** 86.3 % bis 90.4 % der Gesamtbelastungen auf. Mit der Entwicklung der Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2012 und mit den Maßnahmen der Kennzeichnungsverordnung sind deutliche Minderungen der verkehrsbedingten Rußbeiträge zu erwarten. Die Rußpartikelimmissionen werden durch die Maßnahmen intensiver verringert als die PM10-Immissionen, da die verkehrsbedingten Rußbeiträge überwiegend durch die motorbedingten Emissionen geprägt werden.

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

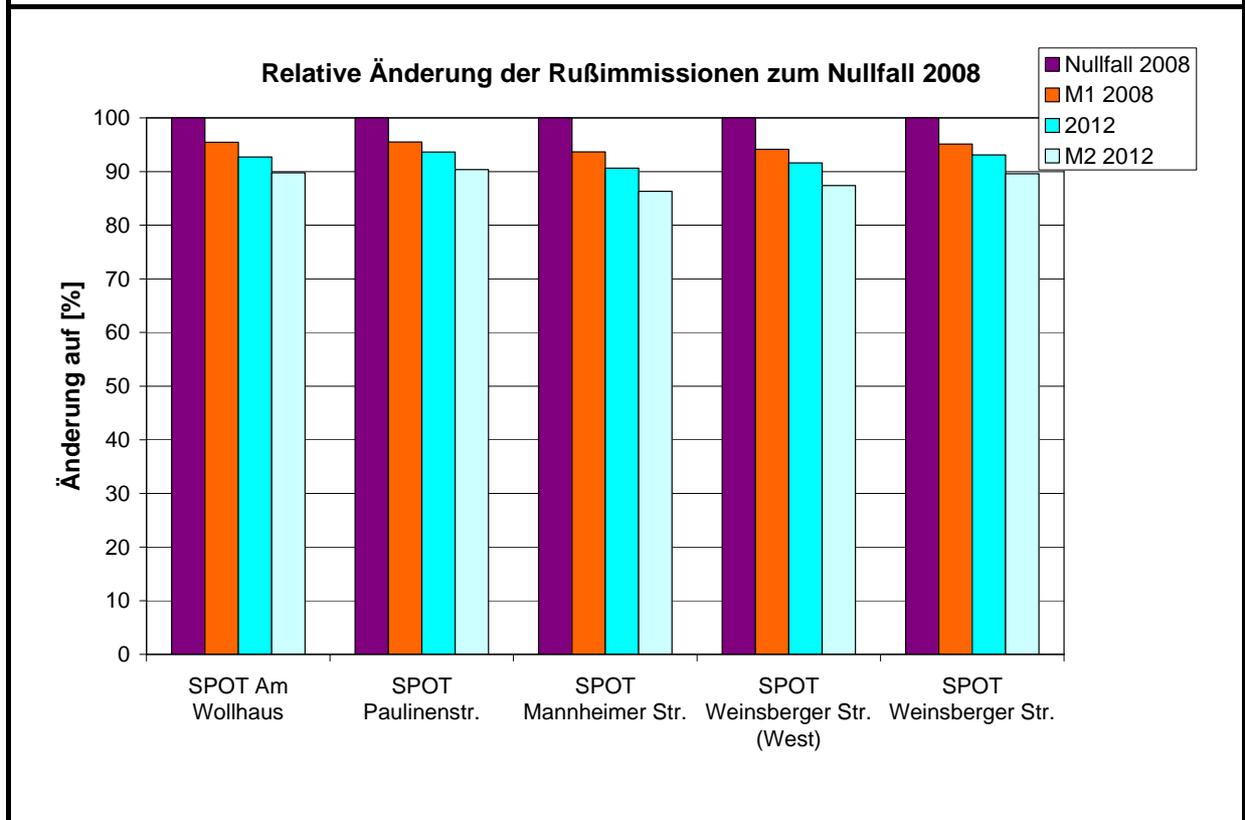
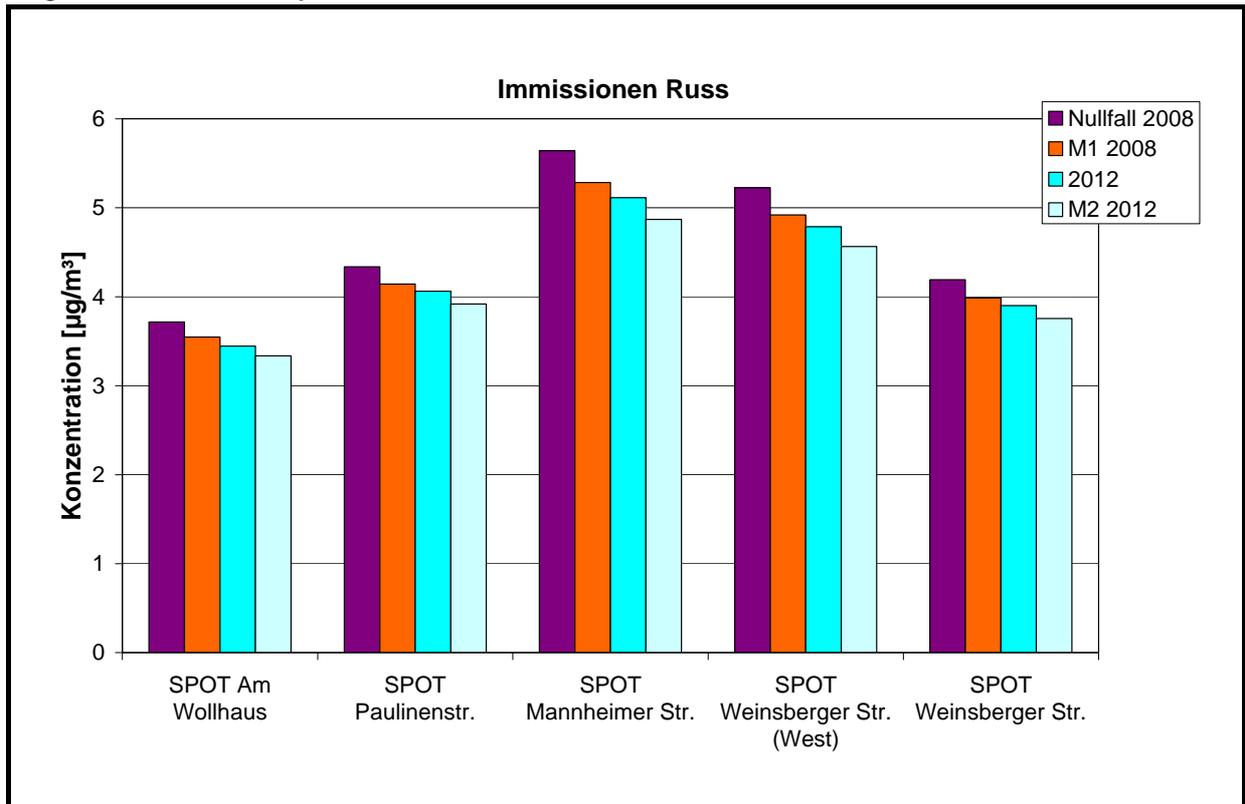


Abb. 4.7: Ruß - Immissionen an den SPOT-Messstellen in Heilbronn
 oben: Immissionen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2008
 in %

5 LITERATUR

22. BImSchV (2002): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte). In: BGBl. I, Nr. 66 vom 17.09.2002, S. 3626.
- Bächlin, W., Bösing, 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.
- Dr. Brenner (2005): Stadt Heilbronn. Gesamtverkehrsplan 2005. Straßennetz. Dr. Brenner Ingenieurgesellschaft mbH, Aalen/Stuttgart.
- 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 Eingangparameter auf berechnete Immissionswerte für KFZ-Abgase - Sensitivitätsanalyse. In: FZKA PEF-Bericht 150, Forschungszentrum Karlsruhe.
- IFEU (2004): Auswirkungen neuer Erkenntnisse auf die Berechnungen der Partikel- und NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs. Kurzstudie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg.
- Kessler, C., Scholz, W., Ahrens, D. (2007): Anstieg des NO₂/NO_x-Verhältnisses an Luftmessstationen in Baden-Württemberg zwischen 1995 und 2005. In: Immissionsschutz 2, S. 68-72, 2007.

- 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 (2004): Maßnahmebetrachtungen zu PM10 im Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Projekt 60277, Dezember 2004. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Stuttgart.
- Lohmeyer (2005): Ergänzung zum Bericht Maßnahmebetrachtungen zu PM10 im Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Projekt 60277E, Januar 2005. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Stuttgart.
- LUBW (2007): Immissionsmessdaten. Herausgeber: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Im Internet unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de.
- Regierungspräsidium Stuttgart (2007): Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart, Teilplan Heilbronn. Maßnahmenplan zur Minderung der PM10- und NO₂-Belastungen.
- 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-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).
- UBA (1995) (Hassel, D., Jost, P., Weber, F.J., Dursbeck, F.): Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland für das Bezugsjahr 1990. Ab-

schlussbericht. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Luftreinhaltung. UBA-FB 95-049. UBA-Berichte 5/1995.

UBA (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1/April 2004. Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS AG Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg. Hrsg: Umweltbundesamt Berlin. Herunterladbar unter <http://www.hbefa.net/>.

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

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

WSExpert (2005): WSExpert, Expertensystem Windstatistik, Version 1.3. Bearbeitung METCON Dr. Bigalke, Ingenieurbüro Rau im Auftrag der LfU Baden-Württemberg bzw. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW).