



Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart Teilplan Landeshauptstadt Stuttgart

**Anhang
Berechnung der immissionsseitigen Auswirkungen
von verkehrlichen Maßnahmen des
Luftreinhalte-/Aktionsplans Stuttgart
Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe, November 2005**



Baden-Württemberg
REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART



**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

An der Roßweid 3, D-76229 Karlsruhe

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

E-Mail: info.ka@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

Messstelle nach §§ 26, 28 BImSchG

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

Auftraggeber: Regierungspräsidium Stuttgart
Postfach 800709
70507 Stuttgart

Dipl.-Geogr. T. Nagel

Dr.-Ing. W. Bächlin

November 2005
Projekt 60448-05-01
Berichtsumfang 70 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN	1
1 ZUSAMMENFASSUNG	4
2 AUFGABENSTELLUNG	8
3 VERKEHR, FAHRZEUGFLOTTEN UND EMISSIONSFAKTOREN	10
3.1 Verkehr	10
3.2 Fahrzeugflotte	14
3.3 Emissionsfaktoren	17
3.3.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren	18
3.3.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren	18
3.3.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen	19
4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN	22
4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte.....	22
4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen.....	27
5 LITERATUR	42
A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION.....	46
A2 AUSWIRKUNGEN DER EHEMALIGEN MASSNAHMEN M2-EHEM. BIS M5- EHEM.	52
A3 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSSTRASSENNETZ.....	66

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.

Vorbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung

Als Vorbelastung werden im Folgenden die Immissionen bezeichnet, die bereits ohne die Emissionen des Straßenverkehrs auf den betrachteten Straßen an den Untersuchungspunkten vorliegen. Die Zusatzbelastung ist diejenige Immission, die ausschließlich vom Verkehr auf dem zu untersuchenden Straßennetz oder der zu untersuchenden Straße hervorgerufen wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Vorbelastung und Zusatzbelastung und wird in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder 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 weitere Kurzzeitwerte in Form des Stundenmittelwertes der NO₂ Konzentrationen von 200 µg/m³, der in nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf und des Tagesmittelwertes der PM10-Konzentration von 50 µg/m³, der maximal an 35 Tagen überschritten werden darf. Da diese Werte derzeit nicht direkt berechnet werden können, erfolgt die Beurteilung hilfsweise anhand von abgeleiteten Äquivalentwerten auf Basis der 98-Perzentil- bzw. Jahresmittelwerte. Diese Äquivalentwerte sind aus Messungen abgeleitete Kennwerte, bei deren Unterschreitung auch eine Unterschreitung der Kurzzeitwerte erwartet wird.

Verkehrssituation

Emissionen und Kraftstoffverbrauch hängen in hohem Maße vom Fahrverhalten der Kfz ab, die sich in unterschiedlichen Betriebszuständen wie Leerlauf im Stand, Beschleunigung, Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsverzögerung etc. befinden. Das typische Fahrverhalten der Kfz kann zu so genannten Verkehrssituationen zusammengefasst werden. Diese wurden vom Umweltbundesamt definiert und es wurden dafür die Emissionen gegeben. Verkehrssituationen sind durch die Merkmale eines Straßenabschnitts wie Geschwindigkeitsbeschränkung, Ausbaugrad, Vorfahrtregelung etc. charakterisiert.

Feinstaub / PM10

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

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	-
	NOx Diesel [g/km]	-	-	0.50	0.25	-
	NOx 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
	NOx [g/kWh]	9.0	7.0	5.0	3.5	2.0

1 ZUSAMMENFASSUNG

Der Luftreinhalte-/ Aktionsplan für die Landeshauptstadt Stuttgart (Stand Juni 2005) nennt Maßnahmen zur Verringerung der Luftschadstoffbelastungen. Für folgende Maßnahmen wurden Berechnungen der zu erwartenden Minderungen der Immissionen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführt, wobei die Maßnahmen M2 bis M5 hier den Zusatz „ehem.“ für ehemals erhalten, da sie mit der aktuellen Kennzeichnungsverordnung überarbeitet sind:

- M1** Ganzjähriges Lkw-Durchfahrtsverbot (Lieferverkehr frei) im Stadtgebiet Stuttgart ab 2006
- M2** ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2007 für Diesel-Kfz schlechter EURO 1 mit Befreiungsmöglichkeit bei Nachrüstung eines Partikelfilters
- M3** ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2008 für Diesel-Kfz schlechter EURO 2 mit Befreiungsmöglichkeit bei Nachrüstung eines Partikelfilters
- M4** ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2010 für alle Kfz schlechter EURO 2
- M5** ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2012 für alle Kfz schlechter EURO 3

Im Herbst 2005 wurde eine Kennzeichnungsverordnung im Bundesrat verabschiedet (Stand 14.10.2005), die über die Ausgabe von Plaketten die Kfz hinsichtlich dem Schadstoffausstoß kennzeichnet. Die Einteilung nach der Kennzeichnungsverordnung weicht von denen der Maßnahmen M2 ehem. bis M5 ehem. ab, sie werden im Rahmen des Luftreinhalte-/ Aktionsplans zu folgenden Maßnahmen zusammengefasst:

- M2** Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab dem 01.07.2007 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung
- M3** Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung

Mit der Erarbeitung des Luftreinhalte-/ Aktionsplans für die Landeshauptstadt Stuttgart wurden auch aktualisierte Verkehrsbelegungsdaten vorgelegt, insbesondere über den Wirtschaftsverkehr in der Region Stuttgart. Die Verkehrsbelegungsdaten liegen für das Jahr

2005 als Bestandsdaten und für das Jahr 2010 als Prognosedaten unter Berücksichtigung von wesentlichen Änderungen im Straßennetz vor.

Für die Standorte der verkehrsbezogenen Messstationen in Stuttgart werden die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen berechnet. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Stuttgarter Straßennetzes werden unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 2.1, Stand 2004 und mit den neuesten Erkenntnissen bezüglich Anteilen von Abrieb und Aufwirbelung an PM10 die Änderungen der Emissionen und darauf basierend der Immissionen gegenüber dem Referenzfall aufgezeigt. Betrachtet werden die Schadstoffe NO₂ und PM10, ergänzend auch Ruß.

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

Für NO_x-Freisetzungen sind in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 82 %-97 %, im Jahr 2007 ca. 87 %-89 %, mit der Maßnahme M2 ca. 85 %-88 %, im Jahr 2012 ca. 63 %-68 % und mit der Maßnahme M3 ca. 59 %-64 % der NO_x-Emissionen zu erwarten. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt.

Die PM10-Emissionen weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 86 %-98 %, im Jahr 2007 ca. 94 %-97 %, mit der Maßnahme M2 ca. 90 %-95 %, im Jahr 2012 ca. 83 %-92 % und mit der Maßnahme M3 ca. 80 %-91 % auf. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten PM10-Emissionen wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt, wobei mit dem LKW-Durchfahrtsverbot (M1) auf Straßenabschnitten mit hohem LKW-Anteil beträchtliche Minderungen zu erwarten sind. Bei den PM10-Emissionen ist zu beachten, dass der nicht motorbedingte Anteil durch die betrachteten Maßnahmen nur dann verringert wird, wenn auch die Verkehrsbelastung verringert wird; die Auswirkungen der Maßnahmen hinsichtlich der Verringerung der motorbedingten PM10-Emissionen werden durch die gleich bleibenden

Anteile der nicht motorbedingten Beiträge deutlich abgeschwächt, da auch PKW und leichte Nutzfahrzeuge ohne Dieselmotor zu den Aufwirbelungen beitragen.

Die Russemissionen beschreiben überwiegend einen Teil der motorbedingten Partikelemissionen und weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 87 %-98 %, im Jahr 2007 ca. 89 %-93 %, mit der Maßnahme M2 ca. 81 %-88 %, im Jahr 2012 ca. 68 %-82 % und mit der Maßnahme M3 ca. 63 %-78 % auf. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten Russemissionen wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt, wobei mit dem LKW-Durchfahrtsverbot (M1) und durch die Fahrverbote für Dieselfahrzeuge entsprechend der Kennzeichnungsverordnung auf Straßenabschnitten mit hohem LKW-Anteil beträchtliche Minderungen zu erwarten sind.

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

Die PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 91 %-99 %, im Jahr 2007 ca. 96 %-98 %, mit der Maßnahme M2 ca. 93 %-98 %, im Jahr 2012 ca. 88 %-97 % und mit der Maßnahme M3 ca. 87 %-95 % der Gesamtbelastungen des Jahres 2005 auf. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten PM10-Beiträge wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt, wobei mit dem LKW-Durchfahrtsverbot (M1) auf Straßenabschnitten mit hohem LKW-Anteil beträchtliche Minderungen zu erwarten sind, indem die Immissionen bis ca. 9 % verringert werden. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer Verringerung der PM10-Gesamtbelastungen bezogen auf das Referenzjahr um bis zu 3 % gegenüber den Zuständen ohne Maßnahmen.

Für Feinstaub werden auch die Auswirkungen auf die Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bezogen auf die Messdaten betrachtet. An Straßenabschnitten mit sehr hoher Verkehrsbelegung bzw. hohem LKW-Anteil sind Verringerungen der Anzahl der Tage mit Überschreitungen festzustellen. An den anderen Stationen sind nur geringe Verringerungen der Tage mit Überschreitungen der PM10-Tagesmittelwerte bzw. keine Änderungen prognostiziert. Die Minderung der verkehrsbedingten PM10-Beiträge ist teilweise nicht so groß, dass ausgehend von den Messdaten des Jahres 2004 damit eine zusätzliche Unterschreitung des Schwellenwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verbunden ist.

Die Russimmissionen weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 89 %-99 %, im Jahr 2007 ca. 91 %-95 %, mit der Maßnahme M2 ca. 84 %-92 %, im Jahr 2012 ca. 74 %-87 % und mit der Maßnahme M3 ca. 70 %-86 % der Gesamtbelastungen des Jahres 2005 auf. Der motorbedingte Anteil der Rußpartikelbelastungen wird gegenüber den PM10-Immissionen intensiver durch die Maßnahmen verringert.

Die NO₂-Jahresmittelwerte weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 96 %-99 %, im Jahr 2007 ca. 95 %-98 %, mit der Maßnahme M2 ca. 94 %-97 %, im Jahr 2012 ca. 84 %-91 % und mit der Maßnahme M3 ca. 82 %-89 % der Gesamtbelastungen des Jahres 2005 auf. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten NO₂-Belastungen wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer Verringerung der NO₂-Gesamtbelastungen bezogen auf das Referenzjahr um bis zu 2 % gegenüber den Zuständen ohne Maßnahmen.

Insgesamt ist aus den Ergebnissen der Berechnungen zu schließen, dass mit der Erneuerung der Kfz-Fahrzeugflotte deutliche Verringerungen der motorbedingten Schadstofffreisetzung verbunden sind, die auch zu deutlichen Verringerungen der NO₂- und Russbelastungen führen. Da an den Hauptverkehrsstraßen der verkehrsbedingte Anteil an diesen Immissionen hoch ist, werden die Gesamtbelastungen durch Verringerungen der Zusatzbelastungen des Kfz-Verkehrs auch deutlich reduziert. Allerdings zeigen die Berechnungen, dass die Auswirkungen der Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung (M2 und M3) gegenüber der zeitlichen Entwicklung bis 2012 deutlich geringer sind. Die Reduzierung der Feinstaubbelastungen durch die zeitliche Entwicklung der Fahrzeugflotte und die betrachteten Maßnahmen weisen einen geringeren Umfang auf, was vor allem an den nicht motorbedingten PM10-Beiträgen des Kfz-Verkehrs und dem insgesamt geringeren Anteil der verkehrsbedingten Beiträge an der PM10-Gesamtbelastung gegenüber den anderen betrachteten Schadstoffen liegt. Wirkungsvolle Verringerungen sind für PM10 durch Reduzierungen des Kfz-Verkehrs erreichbar, wie die Ausführungen in der vorangegangenen Studie „Maßnahmenbetrachtungen zu PM10 in Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen“ (Lohmeyer, 2004) belegen und auch die Betrachtungen des LKW-Durchfahrtsverbots andeuten.

2 AUFGABENSTELLUNG

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

Das sind folgend genannte Maßnahmen des Luftreinhalte-/ Aktionsplans für die Landeshauptstadt Stuttgart (Stand Juni 2005), wobei die Maßnahmen M2 bis M5 hier den Zusatz „ehem.“ für ehemals erhalten, da sie mit der aktuellen Kennzeichnungsverordnung überarbeitet sind:

- M1** Ganzjähriges Lkw-Durchfahrtsverbot (Lieferverkehr frei) im Stadtgebiet Stuttgart ab 2006
- M2** ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2007 für Diesel-Kfz schlechter EURO 1 mit Befreiungsmöglichkeit bei Nachrüstung eines Partikelfilters
- M3** ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2008 für Diesel-Kfz schlechter EURO 2 mit Befreiungsmöglichkeit bei Nachrüstung eines Partikelfilters
- M4** ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2010 für alle Kfz schlechter EURO 2
- M5** ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2012 für alle Kfz schlechter EURO 3

Im Herbst 2005 wurde eine Kennzeichnungsverordnung im Bundesrat verabschiedet (Stand 14.10.2005), die über die Ausgabe von Plaketten die Kfz hinsichtlich dem Schadstoffausstoß kennzeichnet. Die Einteilung nach der Kennzeichnungsverordnung weicht von denen der Maßnahmen M2 ehem. bis M5 ehem. ab.

Dementsprechend werden im Rahmen des Luftreinhalte-/ Aktionsplans die bisher genannten Maßnahmen M2 ehem. bis M5 ehem. zu folgenden Maßnahmen zusammengefasst:

- M2** Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab dem 01.07.2007 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung

M3 Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung

Die Wirkung der bisherigen Maßnahmen M2 ehem. bis M5 ehem. werden im Anhang aufgeführt und beschrieben.

Weiterhin wurden mit der Erarbeitung des Luftreinhalte-/ Aktionsplans für die Landeshauptstadt Stuttgart auch aktualisierte Verkehrsbelegungsdaten vorgelegt, insbesondere über den Wirtschaftsverkehr in der Region Stuttgart. Die Verkehrsbelegungsdaten liegen damit für das Jahr 2005 als Bestandsdaten und für das Jahr 2010 als Prognosedaten unter Berücksichtigung von wesentlichen Änderungen im Straßennetz vor, z.B. der Inbetriebnahme des Pragsatteltunnels.

Neben den Messwerten der Luftschadstoffbelastungen der Stationen des Landesmessnetzes Baden-Württemberg in Stuttgart liegen auch aktuelle Luftschadstoffmessdaten straßen naher Messstationen vor, den sogenannten „Spot“-Messungen.

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

Betrachtet werden die Schadstoffe NO₂ und PM10, ergänzend auch die Rußbelastungen.

3 VERKEHR, FAHRZEUGFLOTTEN 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.

Im April 2004 wurde das aktuelle Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs – HBEFA –, Version 2.1 veröffentlicht. Diese Datenbasis stellt die aktuelle und für das gesamte Bundesgebiet zutreffende Emissionsdatenbasis für den Kfz-Verkehr dar.

Die Informationen der fahrzeugflottenspezifischen Emissionsfaktoren im Handbuch basieren auf Emissionsmessungen an unterschiedlichen repräsentativen Kfz mit den entsprechenden Motorenkonzepten sowie einer angesetzten Flottenzusammensetzung der Kfz in Deutschland.

Für das verkehrsbedingte Feinstaubaufkommen sind neben den „motorbedingten“ Emissionen auch „nicht motorbedingte“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Beiträge zu berücksichtigen. Dies basiert auf aktuellen Angaben der Fachliteratur.

3.1 Verkehr

Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahmen wird die für das Jahr 2010 prognostizierte Verkehrsbelegung herangezogen, da in diesem Netz die schon beschlossenen Änderungen des Straßennetzes (z.B. Pragsatteltunnel) enthalten sind. Diese Verkehrsdaten sind als Übersichtsdarstellung in **Abb. 3.1** aufgezeigt. Einige Straßenabschnitte sind mit Nummern versehen, die in **Tab. 3.1** mit den dazugehörigen Straßenbezeichnungen und Verkehrsbelegungsdaten aufgelistet sind. Basierend auf diesem detaillierten Verkehrsnetz wurden durch das Stadtplanungsamt der Landeshauptstadt Stuttgart Verkehrsumlegungen unter Berücksichtigung der Maßnahme **M1** - Ganzjähriges Lkw-Durchfahrtsverbot (Lieferverkehr frei) im Stadtgebiet Stuttgart ab 2006 – durchgeführt. Dabei wird die innerstädtische B 10 mit den Abzweigen B14 Richtung Waiblingen und B27/B27a Richtung Kornwestheim vom Durchfahrtsverbot ausgenommen. Diese Daten wurden mit dem Stand August 2005 für die Emissions- und Immissionsberechnungen zur Verfügung gestellt. Aus den bestehenden Verkehrsdaten von Stuttgart wurde durch das Stadtplanungsamt ermittelt, dass im gesamten Stadtgebiet von Stuttgart ca. 12 500 LKW-Fahrten dem Durchgangsverkehr zuzuordnen sind; etwa die Hälfte dieser Fahrten findet auf Straßenabschnitten statt, die von der Maßnahme M1 betroffen sind. In **Abb. 3.2** ist die relative Änderung des LKW-Aufkommens an den betrachteten Straßenabschnitten bedingt durch die Maßnahme M1 aufgeführt.



Abb. 3.1: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in [KFZ/24h] auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet.
Nummern für Tab. 3.1

Nr.	Straßenname	DTV (Kfz/24 h)	LKW-Anteil (%)
1	A 8	137 465	18.3
2	A 831	82 921	5.3
3	Friedrichstr.	81 992	2.7
4	Planie-Charlottenstr.	47 776	3.9
5	Hauptstätter Str.	92 509	4.4
6	Hohenheimer Str.	53 300	2.4
7	Arnulf-Klett-Platz	63 782	3.0
8	Am Neckartor	67 973	4.6
9	Cannstatter Str.	95 006	4.5
10	Heilbronner Str.	60 758	2.4
11	Pragstr.	63 000	12.0
12	Uferstr. / B10/14	89 000	10.2
13	Waiblinger Str.	28 466	3.2
14	Gnesener Str.	24 124	2.1
15	B 14 nach Waiblingen	83 283	8.2
16	Uferstr. Süd / B10	91 671	11.2
17	B 295 Feuerbach (Föhrichstr.)	37 596	8.3
18	Siemensstr.	46 213	8.3
19	Heilbronner Str.	87 858	7.5
20	Ludwigsburger Str. (Zuff.)	24 901	8.0
21	Ludwigsburger Str.	30 565	3.5
22	Schwieberdinger Str.	28 093	5.7
23	A 81	102 659	20.0
24	Paulinenstr.	48 706	2.3

Tab. 3.1: Verkehrsdaten für die in Abb. 3.1 gekennzeichneten Straßenabschnitte

Für die Maßnahmen **M2** - Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab dem 01.07.2007 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung- und **M3** - Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab dem 01.01.2012 für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung – wird die Verkehrsbelegung des Netzes für das Jahr 2010 vorausgesetzt.

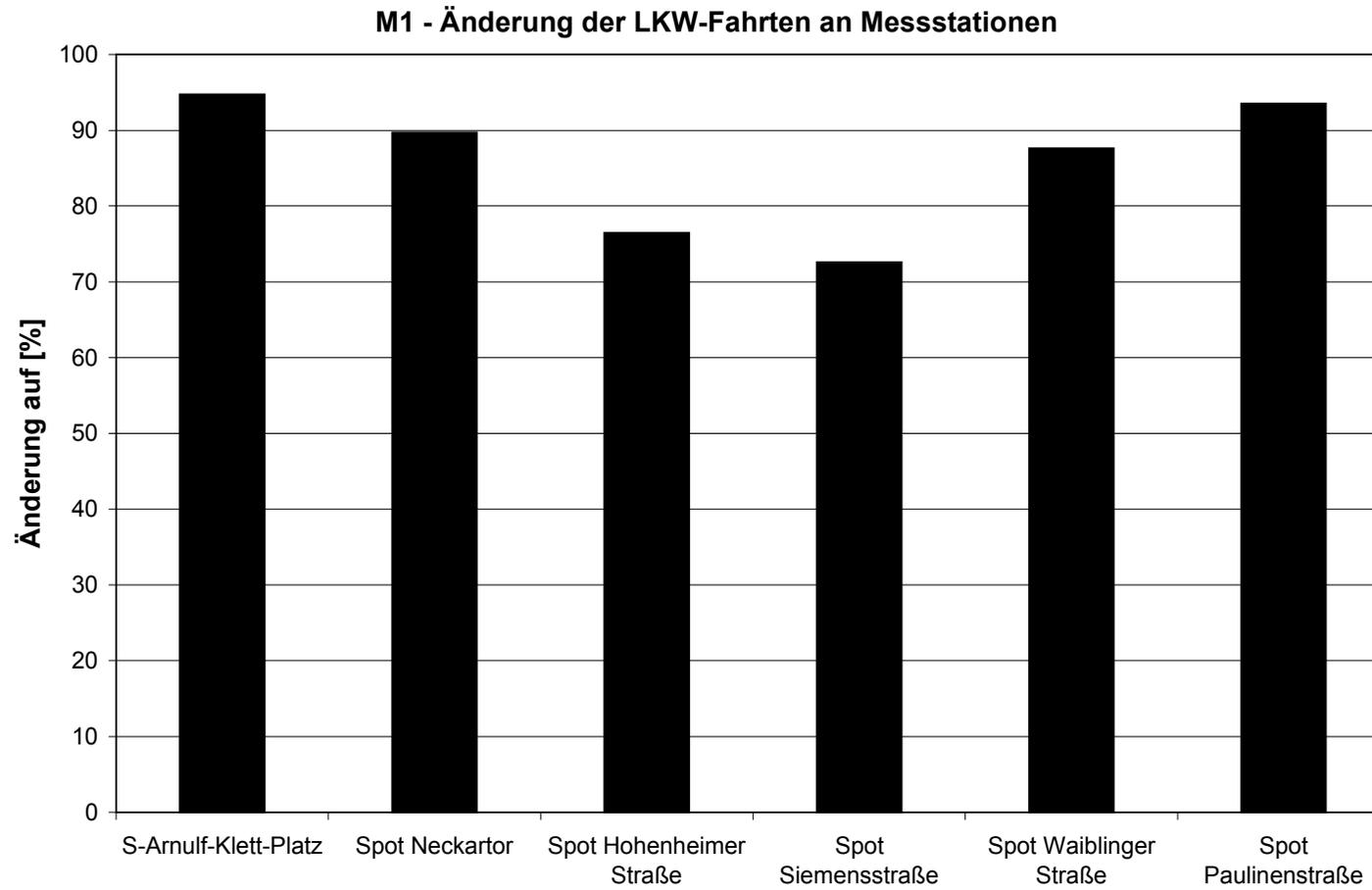


Abb. 3.2: Relative Änderung der LKW-Fahrten durch die Maßnahme M1 an den sechs Straßenabschnitten der Messstationen

3.2 Fahrzeugflotte

Die Zusammensetzungen der dynamischen Fahrzeugflotten, d.h. die Zusammensetzung der auf den Straßen verkehrenden Fahrzeuge, sind für innerstädtische Bereiche dem HBEFA für die zu betrachtenden Bezugsjahre 2005, 2007 und 2012 entnommen und in **Abb. 3.3** aufgezeigt. Dabei ist zu beachten, dass die dynamische Fahrzeugflotte nicht direkt vergleichbar ist mit den Bestandszahlen für eine Region, die die statische Flottenzusammensetzung basierend auf den Zulassungszahlen angibt. Für Baden-Württemberg wurden durch das Regierungspräsidium Stuttgart Bestandszahlen für die Jahre 2005, 2007, 2008, 2010 und 2012 zur Verfügung gestellt, die verglichen mit den dynamischen Fahrzeugflotten im HBEFA für innerörtliche Bereiche sehr geringe Abweichungen aufweisen. Dementsprechend werden die Emissionsberechnungen auf der Grundlage der Daten und Flottenzusammensetzungen des HBEFA durchgeführt.

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

Für die Maßnahmen **M2** und **M3** werden die in der Datengrundlage (HBEFA) beschriebenen Zusammensetzungen der Fahrzeugflotten verändert, indem die vom Fahrverbot betroffenen Fahrzeugarten aus der Fahrzeugflotte ausgeschlossen werden. In **Abb. 3.4** sind die prozentualen Anteile der Fahrten im Innenstadtverkehr aufgezeigt, die von dem Fahrverbot betroffen sind.

Von den PKW-Fahrten sind im Jahr 2007 durch die Maßnahme **M2** ca. 2.1 % der Fahrten vom Fahrverbot betroffen, die sich zu ca. 0.5 % der Fahrten mit Ottomotoren und zu ca. 1.6 % der Fahrten mit Dieselmotoren zusammensetzen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 14.6 % der Lieferwagenfahrten und ca. 13.5 % der LKW-Fahrten betroffen. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme wird berücksichtigt, dass im Wirtschaftsverkehr nur notwendige Fahrten durchgeführt werden und deshalb eine vollständige Verlagerung der Fahrten auf Fahrzeuge erfolgt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden. Bei den PKW-

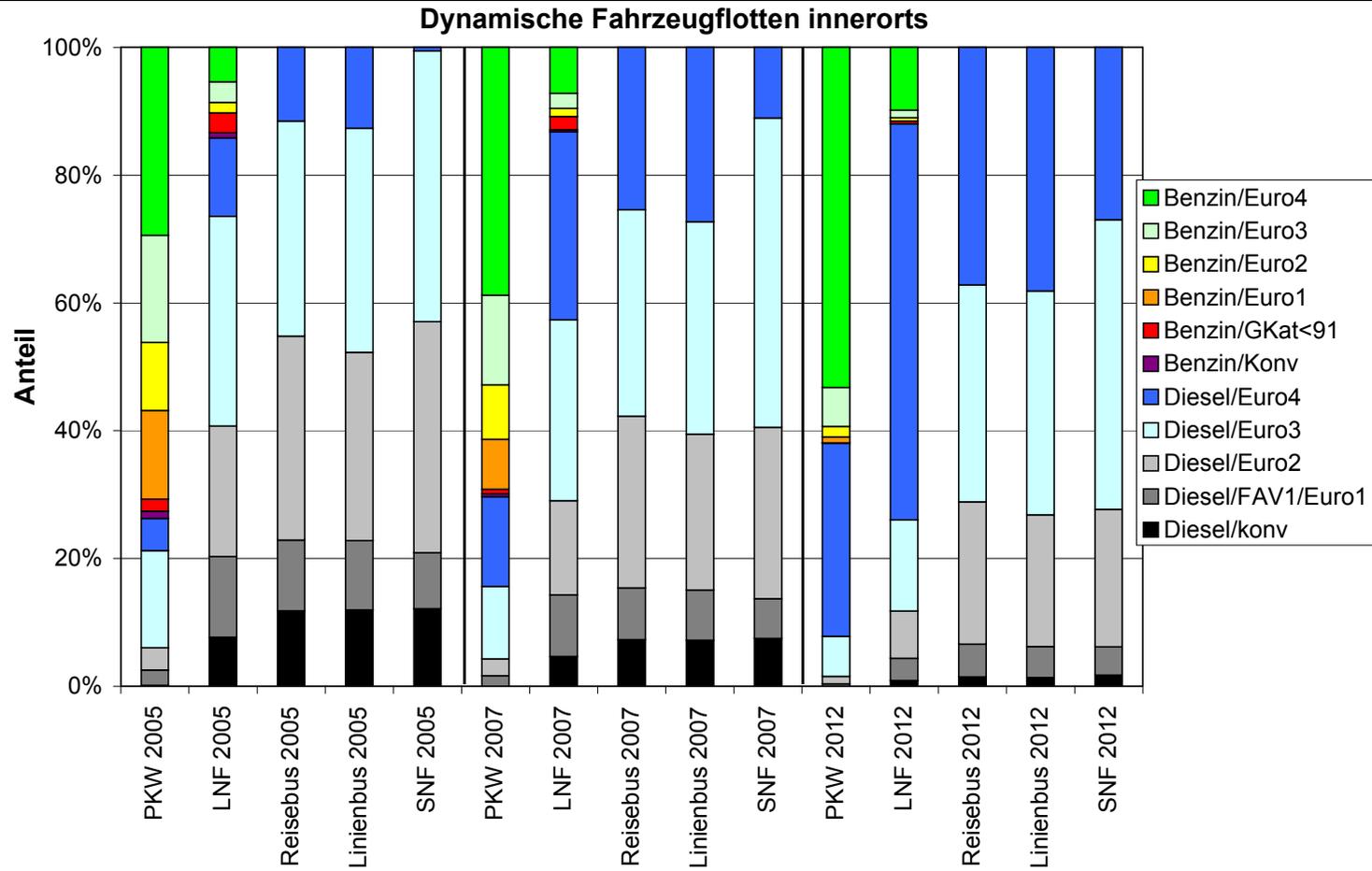


Abb. 3.3: Zusammensetzung der dynamischen Kfz-Flotte für die Jahre 2005, 2007 und 2012 entsprechend HBEFA, unterteilt nach PKW, leichte Nutzfahrzeuge (LNF), Reisebusse, Linienbusse und schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

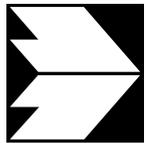
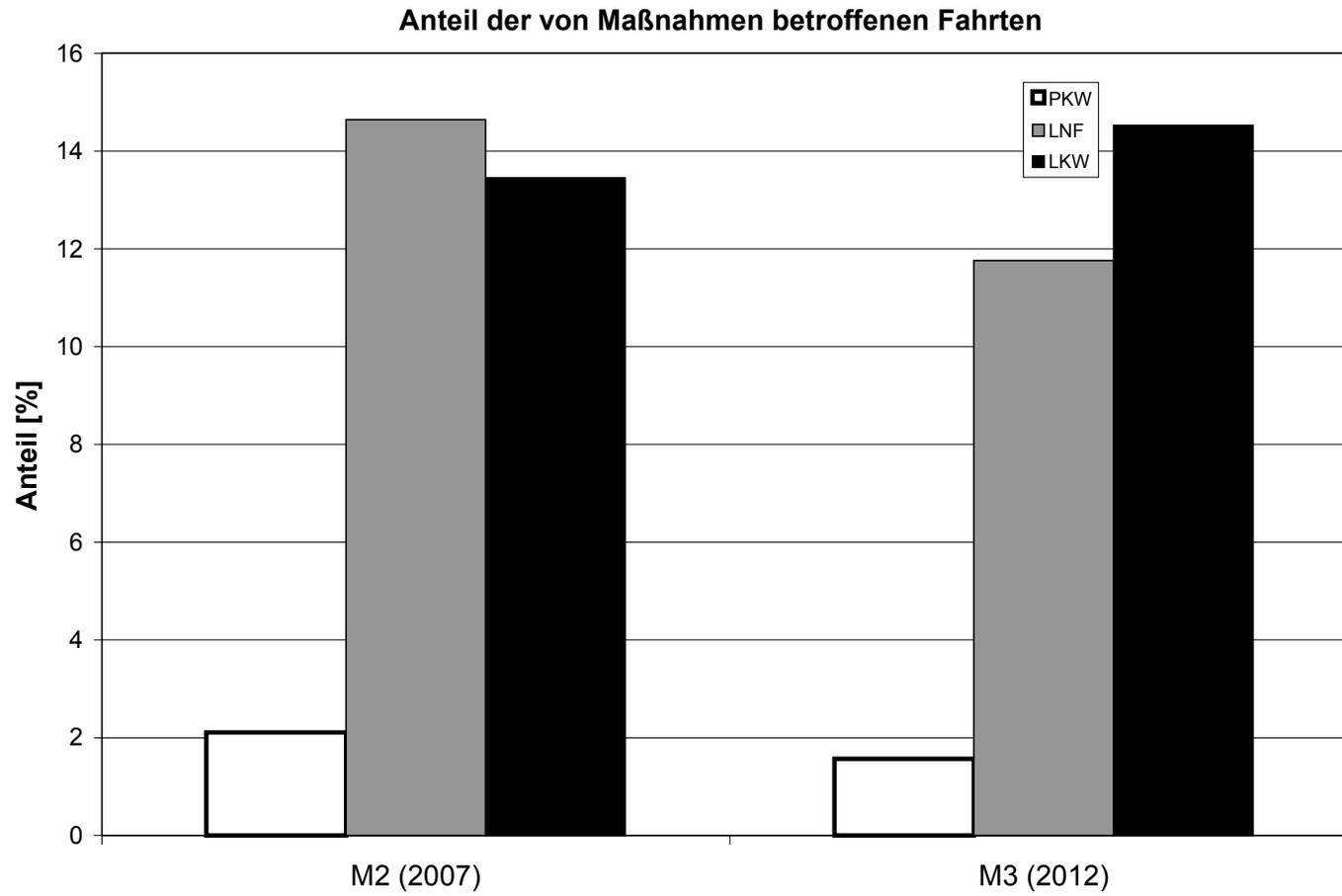


Abb. 3.4: Anteil der von den Fahrverboten der Maßnahmen M2 und M3 betroffenen Fahrten getrennt für PKW, Lieferwagen (LNF) und LKW

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.

Von den PKW-Fahrten sind im Jahr 2012 durch die Maßnahme **M3** ca. 1.6 % der Fahrten vom Fahrverbot betroffen, die sich zu unter 0.1 % der Fahrten mit Ottomotoren und zu ca. 1.6 % der Fahrten mit Dieselmotoren zusammensetzen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 11.8 % der Lieferwagenfahrten und ca. 14.5 % der LKW-Fahrten betroffen. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme wird berücksichtigt, dass im Wirtschaftsverkehr nur notwendige Fahrten durchgeführt werden und deshalb eine vollständige Verlagerung der Fahrten auf Fahrzeuge erfolgt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden. Für den PKW-Verkehr wird aufgrund des geringen Anteils der betroffenen Fahrten ebenfalls rechnerisch eine Änderung der Fahrzeugflotte durchgeführt.

3.3 Emissionsfaktoren

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

Die Emissionsfaktoren setzen sich aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ (Reifenantrieb, Staubaufwirbelung etc.) Emissionsfaktoren zusammen.

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

3.3.1 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 Längsneigung der Straßen und die Verkehrssituationen sind den Festlegungen des vorangegangenen Gutachtens (Lohmeyer, 2003/5261) entnommen, der Kaltstarteinfluss innerorts für PKW wird entsprechend HBEFA angesetzt, der Kaltstarteinfluss für LKW wird aus UBA (1995) entnommen.

3.3.2 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 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-, Kupplungs- und Straßenabrieb sowie Wiederaufwirbelung von eingetragenem Straßenstaub die in **Tab. 3.2** bis **Tab. 3.4** exemplarisch für die innerstädtischen Verkehrssituationen an den verkehrsnahen Messstellen in Stuttgart aufgeführten Emissionsfaktoren verwendet. Vergleiche der berechneten Immissionen mit Messdaten an sehr stark befahrenen Straßenabschnitten in Stuttgart zeigen, dass auch bei Verkehrssituationen für Innerortsstraßen im Stadtkern die Aufwirbelungsbeiträge der Verkehrssituation HVS4 heranzuziehen sind.

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

3.3.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen

Für die Maßnahmen **M2** und **M3** werden für die Bezugsjahre 2007 und 2012 die Emissionsfaktoren geändert, indem die Fahrzeugflottenzusammensetzung variiert wird. Dabei wurden die Anteile der Fahrten herausgenommen, die vom jeweiligen Fahrverbot betroffen sind. Die entfallenen Fahrten werden anteilmäßig auf die restlichen Fahrten entsprechend der bestehenden Verteilung auf die Fahrzeugkonzepte verteilt. Damit wird die Fahrzeugflotte erneuert; durch die anteilmäßige Aufteilung entsprechend der vorliegenden Verteilung wird berücksichtigt, dass auch gebrauchte Fahrzeuge die entfallenen ersetzen, also nicht immer die neuste verfügbare Technik eingesetzt wird.

Entsprechend der Kennzeichnungsverordnung besteht für Dieselfahrzeuge auch die Möglichkeit der Nachrüstung mit Partikelfiltern für einen Teil der Fahrzeuge. Bei der Maßnahme **M2** im Bezugsjahr sind beispielsweise Filternachrüstungen für EURO1 Fahrzeuge möglich. Entsprechend der Verordnung müssen die Partikelemissionen durch den Filter für PKW und leichte Nutzfahrzeuge um mindestens 30 %, bei schweren Nutzfahrzeugen um

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2005							
	NO _x		Partikel (nur Abgas)		Partikel (nur Abrieb und Aufwirb.)		Ruß	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
HVS4_2	0.357	9.960	0.01189	0.33190	0.0500	0.4500	0.01313	0.16470
Kern	0.424	9.965	0.01337	0.39510	0.0500	0.4500	0.01402	0.19000
Kern_6	0.511	12.996	0.01883	0.44470	0.0500	0.4500	0.01730	0.20990
Kern-Stau	0.524	11.047	0.01673	0.47480	0.0500	0.4500	0.01604	0.22190

Tab. 3.2: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den verkehrsnahen Messstellen für das Bezugsjahr 2005 nach HBEFA

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2007							
	NO _x		Partikel (nur Abgas)		Partikel (nur Abrieb und Aufwirb.)		Ruß	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
HVS4_2	0.299	9.217	0.01055	0.28063	0.0500	0.4500	0.01233	0.14430
Kern	0.354	9.285	0.01159	0.33283	0.0500	0.4500	0.01295	0.16510
Kern_6	0.428	12.001	0.01630	0.37490	0.0500	0.4500	0.01578	0.18200
Kern-Stau	0.447	10.351	0.01461	0.39864	0.0500	0.4500	0.01476	0.19150
M2-HVS4_2	0.286	9.127	0.00941	0.22900	0.0500	0.4500	0.01164	0.12360
M2-Kern	0.336	9.237	0.00994	0.26607	0.0500	0.4500	0.01197	0.13843
M2-Kern_6	0.404	11.854	0.01393	0.30549	0.0500	0.4500	0.01436	0.15420
M2-Kern-Stau	0.433	10.328	0.01265	0.31452	0.0500	0.4500	0.01359	0.15781

Tab. 3.3: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den verkehrsnahen Messstellen für das Bezugsjahr 2007 nach HBEFA und für die Maßnahme M2

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2012							
	NO _x		Partikel (nur Abgas)		Partikel (nur Abrieb und Aufwirb.)		Ruß	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
HVS4_2	0.235	6.249	0.00939	0.15112	0.0500	0.4500	0.01164	0.09245
Kern	0.269	6.377	0.00977	0.17428	0.0500	0.4500	0.01186	0.10171
Kern_6	0.330	8.078	0.01361	0.19852	0.0500	0.4500	0.01417	0.11141
Kern-Stau	0.368	7.188	0.01260	0.20519	0.0500	0.4500	0.01356	0.11410
M3-HVS4_2	0.227	5.719	0.00852	0.13340	0.0500	0.4500	0.01111	0.08536
M3-Kern	0.257	5.863	0.00860	0.15187	0.0500	0.4500	0.01116	0.09275
M3-Kern_6	0.316	7.390	0.01193	0.17262	0.0500	0.4500	0.01316	0.10105
M3-Kern-Stau	0.355	6.647	0.01122	0.17785	0.0500	0.4500	0.01273	0.10314

Tab. 3.4: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den verkehrsnahen Messstellen für das Bezugsjahr 2012 nach HBEFA und für die Maßnahme M3

mindestens 50 % verringert werden. In der Fachliteratur werden teilweise Angaben über die Minderungswirkungen von Partikelfiltern angegeben. Nachrüstsysteme für EURO2 und EURO3 sind im allgemeinen Diesel Oxidation Catalyst (DOC) in Kombination mit Diesel Particle Filter (DPF). Die Minderungsraten bei diesem Typ hängen u.a. vom $\text{NO}_2/\text{Ruß}$ -Verhältnis, von der Länge des Filters und von der Abgastemperatur ab. Deshalb liegen die Minderungsraten beim PKW bei ca. 40 %, beim LNF bei ca. 70 % und beim SV/Busse bei ca. 70-80 % (Brück et al, 2005, Tartovsky et al. 2005, Twin-Tec, 2005). Der Einsatz dieser Informationen bei der Berechnung der Emissionsfaktoren ergibt gegenüber der oben beschriebenen Verteilung auf die nicht vom Verbot betroffenen Fahrzeugkonzepte geringere Minderungen der Emissionsfaktoren der Fahrzeugflotte. Hier wird die oben genannte Vorgehensweise verwendet.

Bei der Maßnahme **M3** sind Filternachrüstungen für EURO2 Fahrzeuge möglich. Für PKW und leichte Nutzfahrzeuge ergeben sich gegenüber der Verteilung auf die nicht vom Verbot betroffenen Fahrzeugkonzepte geringere Minderungen der Emissionsfaktoren der Fahrzeugflotte, bei schweren Nutzfahrzeugen zeichnen sich geringere Minderungen der NO_x -Emissionsfaktoren aber leicht höhere Minderungen der Partikel-Emissionsfaktoren ab. Die rechnerische Umsetzung der Maßnahme erfolgt entsprechend der Verteilung auf die nicht vom Verbot betroffenen Fahrzeugkonzepte.

In einer aktuellen 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.

Die an den verkehrsnahen Messstellen in Stuttgart angesetzten Verkehrssituationen sowie die Längsneigungen der betrachteten Straßen (falls ungleich Null durch Unterstrich von den Verkehrssituationen getrennt) sind in **Tab. 3.2** bis **Tab. 3.4** 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.

4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN

4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte

Basierend auf den o.g. Flotten- und Emissionsdaten werden die Emissionen für die Hauptverkehrsstraßen in Stuttgart berechnet. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse konzentriert sich im Folgenden auf die Straßenabschnitte, an denen Immissionsmessdaten vorliegen. Seit Januar 2004 werden in Stuttgart neben der Messstation Stuttgart-Mitte Straße, Arnulf-Klett-Platz, auch so genannte Spot-Messungen an fünf weiteren Hauptverkehrsstraßen durch die UMEG mbH durchgeführt. Damit werden folgende Straßenabschnitte in Stuttgart im Hinblick auf die Emissionen und Immissionen betrachtet:

- Stuttgart-Mitte Straße (Arnulf-Klett-Platz),
- Am Neckartor,
- Hohenheimer Straße,
- Siemensstraße,
- Waiblinger Straße und
- Paulinenstraße (ohne PM10-Messungen).

Mit den in Kap. 3 aufgeführten Auswertungen der Emissionsfaktoren durch Modifizierungen der Flotte werden folgend die Emissionen der genannten Streckenabschnitte für die Bezugsjahre 2005, 2007 und 2012 jeweils ohne und mit Maßnahme aufgeführt.

Die berechneten Emissionen sind in **Tab. 4.1** und als relative Darstellungen bezogen auf die Emissionsmodellierung des Ausgangszustandes im Bezugsjahr 2005 in **Abb. 4.1** bis **Abb. 4.3** aufgezeigt. Bei den Darstellungen sind die Summe aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ Partikelemissionen, Russemissionen sowie die NO_x-Emissionen betrachtet.

Entsprechend den Zusammensetzungen der Verkehrsbelegungsdaten und der Verkehrssituationen zeigen sich an den sechs Straßenabschnitten deutlich unterschiedliche Emissionen (**Tab. 4.1**). Die relativen Änderungen bezogen auf den Ausgangszustand weisen zwischen den dargestellten Abschnitten nur leichte Variationen auf (**Abb. 4.1** bis **Abb. 4.3**). In den betrachteten Straßenabschnitten sind gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 82 %-97 %, im Jahr 2007 ca. 87 %-89 %, mit der Maßnahme M2 ca. 85 %-88 %, im Jahr 2012 ca. 63 %-68 % und mit der Maßnahme M3 ca. 59 %-64 % der NO_x-

Emissionen zu erwarten. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt. Die beschriebenen Maßnahmen führen zu einer Beschleunigung der NO_x-Emissionsminderungen, die mit zunehmenden Jahren auch so durch die Flottenumstellungen zu erwarten sind.

NO_x in [g/(km d)]						
	2005	2005 M1	2007	2007 M2	2012	2012 M3
S-Arnulf-Klett-Platz	38 578	37 584	33 610	33 057	24 538	23 129
Spot Neckartor	64 221	61 517	57 197	56 471	43 632	41 316
Spot Hohenheimer Straße	43 459	39 744	37 670	36 901	27 734	26 145
Spot Siemensstraße	64 446	52 618	57 542	56 462	40 608	37 774
Spot Waiblinger Straße	17 790	16 848	15 552	15 293	11 491	10 843
Spot Paulinenstraße	26 905	26 093	23 328	22 956	17 453	16 528
Partikel in [g/(km d)]						
	2005	2005 M1	2007	2007 M2	2012	2012 M3
S-Arnulf-Klett-Platz	4 841	4 759	4 650	4 503	4 318	4 219
Spot Neckartor	6 915	6 687	6 572	6 291	5 930	5 765
Spot Hohenheimer Straße	4 890	4 632	4 669	4 513	4 318	4 195
Spot Siemensstraße	5 928	5 105	5 591	5 314	4 905	4 747
Spot Waiblinger Straße	2 362	2 284	2 284	2 226	2 152	2 114
Spot Paulinenstraße	3 777	3 713	3 662	3 580	3 484	3 425
Ruß in [g/(km d)]						
	2005	2005 M1	2007	2007 M2	2012	2012 M3
S-Arnulf-Klett-Platz	1 076	1 057	978	909	825	772
Spot Neckartor	1 661	1 606	1 496	1 368	1 211	1 127
Spot Hohenheimer Straße	1 212	1 152	1 095	1 017	924	856
Spot Siemensstraße	1 442	1 248	1 285	1 160	986	908
Spot Waiblinger Straße	500	484	462	434	403	382
Spot Paulinenstraße	800	786	741	702	659	626

Tab. 4.1: Berechnete Emissionen für die Bezugsjahre 2005, 2007, 2012 und den jeweiligen Maßnahmen in Gramm pro km und Tag

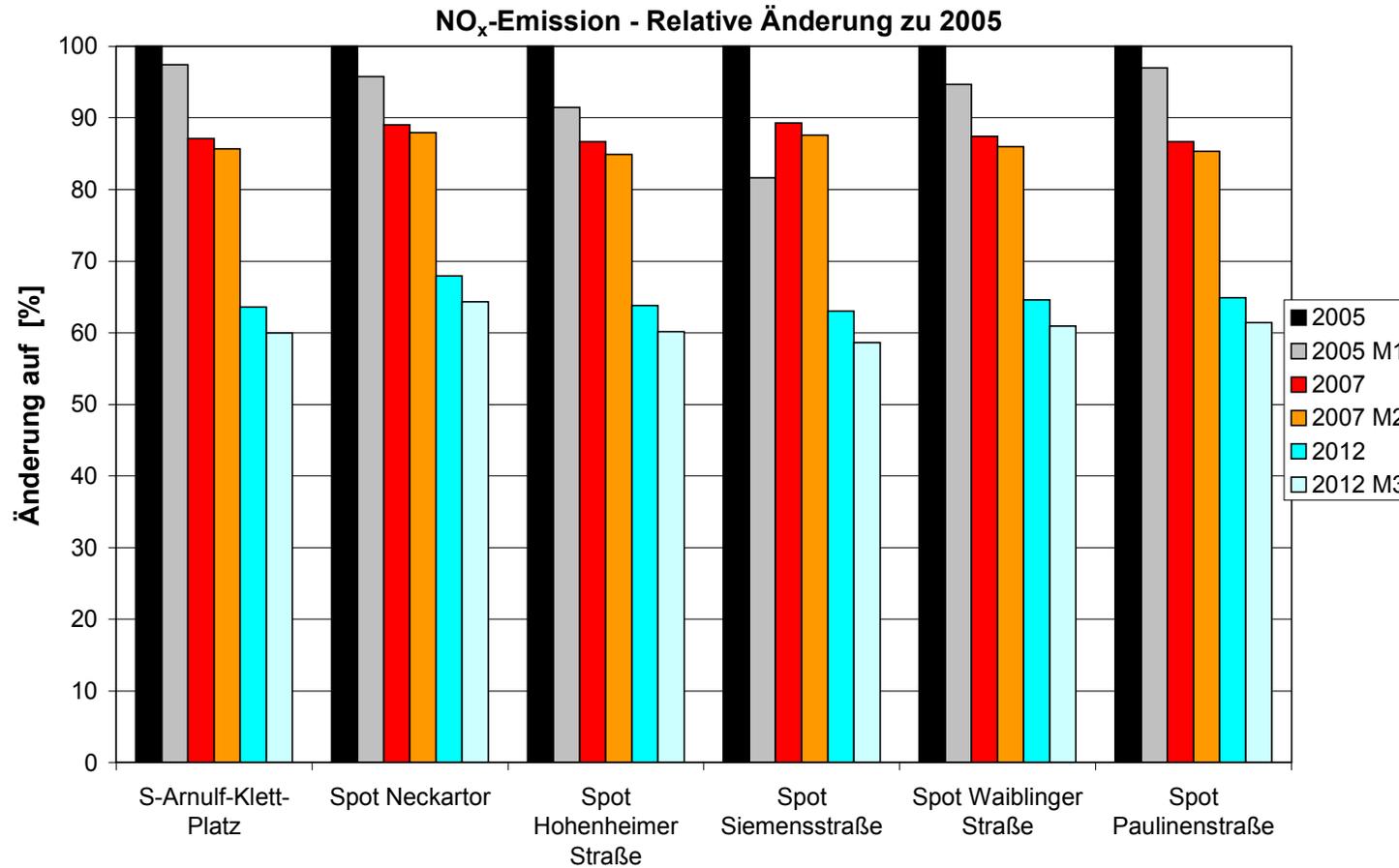


Abb. 4.1: Relativer Anteil der NO_x-Emissionen am Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

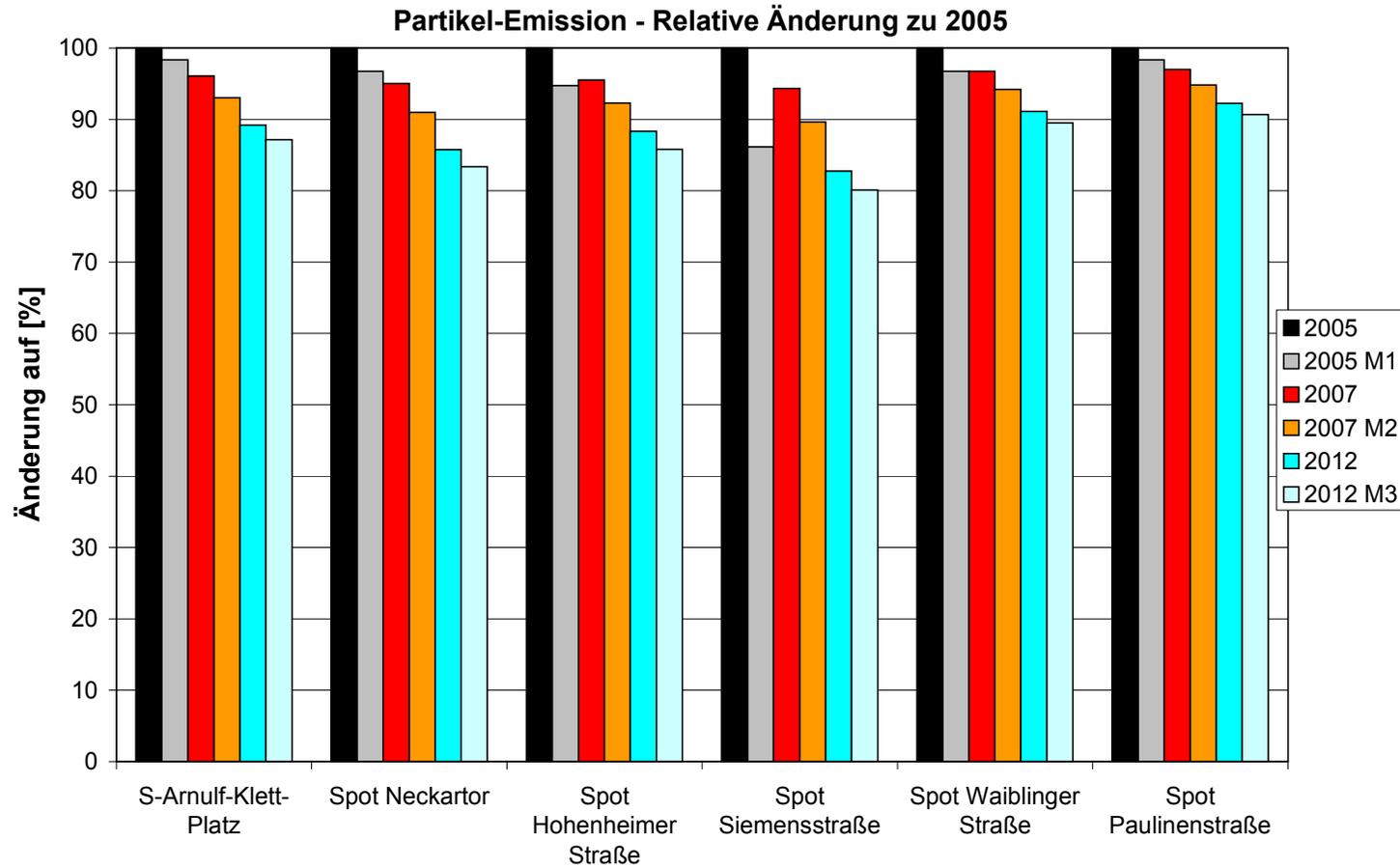


Abb. 4.2: Relativer Anteil der Partikel-Emissionen am Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

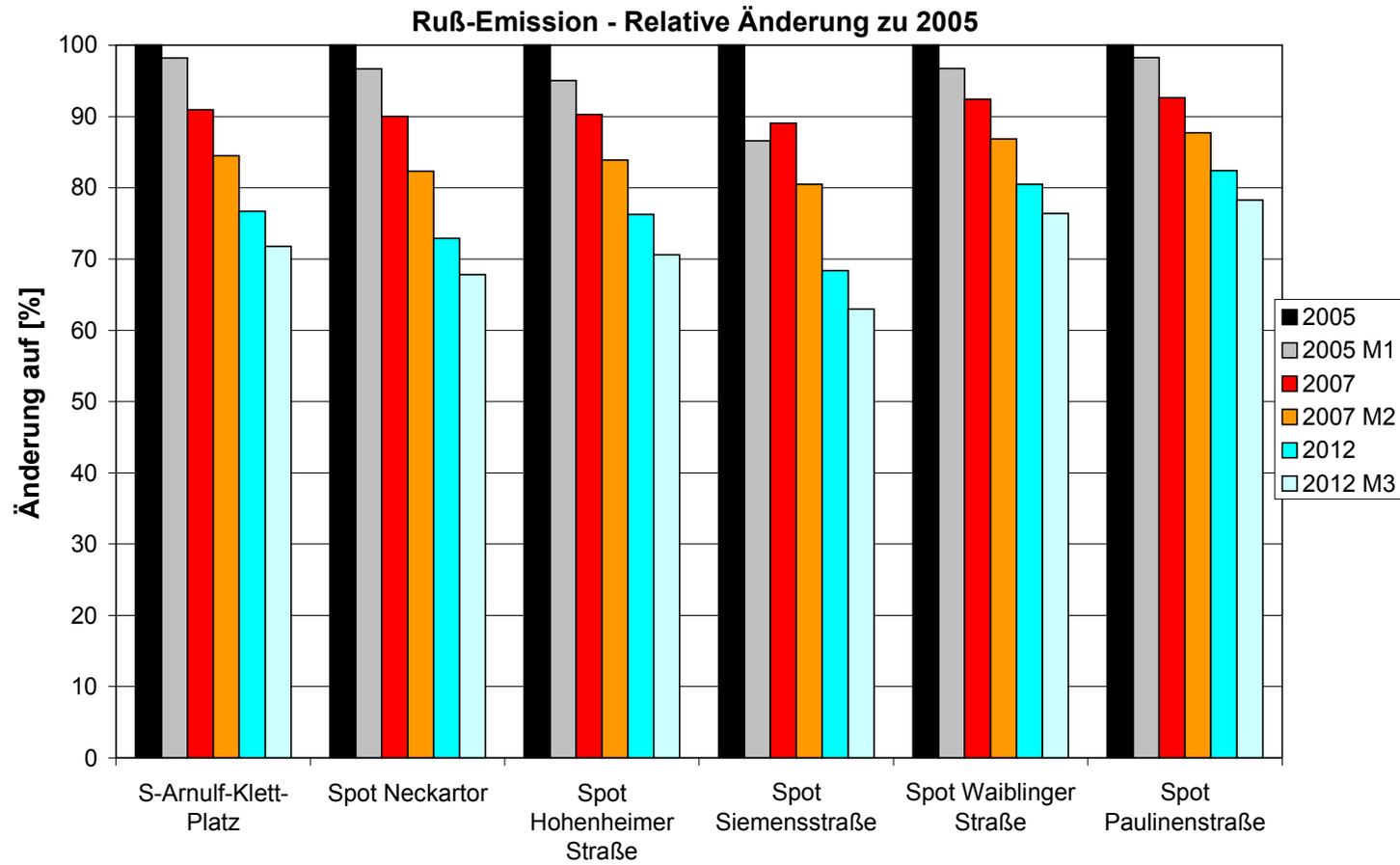


Abb. 4.3: Relativer Anteil der Ruß-Emissionen am Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

Die PM10-Emissionen weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 86 %-98 %, im Jahr 2007 ca. 94 %-97 %, mit der Maßnahme M2 ca. 90 %-95 %, im Jahr 2012 ca. 83 %-92 % und mit der Maßnahme M3 ca. 80 %-91 % auf. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten PM10-Emissionen wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt, wobei mit dem LKW-Durchfahrtsverbot (M1) auf Straßenabschnitten mit hohem LKW-Anteil beträchtliche Minderungen zu erwarten sind. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer Beschleunigung der motorbedingten PM10-Emissionsminderungen, die mit zunehmenden Jahren auch so durch die Flottenumstellungen zu erwarten sind. Bei den PM10-Emissionen ist zu beachten, dass der nicht motorbedingte Anteil durch die betrachteten Maßnahmen nur dann verringert wird, wenn auch die Verkehrsbelastung verringert wird; die Auswirkungen der Maßnahmen hinsichtlich der Verringerung der motorbedingten PM10-Emissionen werden durch die gleich bleibenden Anteile der nicht motorbedingten Beiträge deutlich abgeschwächt, da auch PKW und leichte Nutzfahrzeuge ohne Dieselmotor zu den Aufwirbelungen beitragen. Die „nicht motorbedingten“ Beiträge der PM10-Belastungen sind überwiegend der gröberen Fraktion zuzuschreiben und damit gegenüber den sehr feinen motorbedingten Partikeln weniger lungengängig.

Deshalb 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 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 87 %-98 %, im Jahr 2007 ca. 89 %-93 %, mit der Maßnahme M2 ca. 81 %-88 %, im Jahr 2012 ca. 68 %-82 % und mit der Maßnahme M3 ca. 63 %-78 % auf. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten Russemissionen wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt, wobei mit dem LKW-Durchfahrtsverbot (M1) und durch die Fahrverbote für Dieselfahrzeuge entsprechend der Kennzeichnungsverordnung auf Straßenabschnitten mit hohem LKW-Anteil beträchtliche Minderungen zu erwarten sind. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer Beschleunigung der motorbedingten Russemissionsminderungen, die mit zunehmenden Jahren auch so durch die Flottenumstellungen zu erwarten sind.

4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen

Seit Januar 2004 werden in Stuttgart neben der verkehrsbezogenen Messstation Stuttgart-Mitte Straße, Arnulf-Klett-Platz, auch so genannte Spot-Messungen an fünf weiteren

Hauptverkehrsstraßen durch die UMEG mbH durchgeführt. Damit liegen für folgende Stationen deutlich vom Kfz-Verkehr beeinflusste Immissionsmessdaten vor:

- Stuttgart-Mitte Straße (Arnulf-Klett-Platz),
- Am Neckartor,
- Hohenheimer Straße,
- Siemensstraße,
- Waiblinger Straße und
- Paulinenstraße (ohne PM10-Messungen).

Weiterhin liegen Messdaten der städtischen Stationen Stuttgart Bad-Cannstatt und Stuttgart-Zuffenhausen vor.

Auswertungen dieser Messdaten erlauben einen Überblick über die Anzahl der Überschreitungen des PM10-Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und die Anzahl der Überschreitungen des NO_2 -Stundenwertes von $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$; weiterhin können die Daten zur Abschätzung und Unterscheidung der verkehrsbedingten Beiträge der Hauptverkehrsstraßen von der städtischen Grundbelastung herangezogen werden. Darauf wird im Folgenden kurz eingegangen. Diese Vorgehensweise ist für die Betrachtungen zu den Kurzzeitbelastungen erforderlich, um die Wirkung lokaler, Verkehrsemissionen beeinflussender Maßnahmen auf die Immissionen ableiten zu können.

Tab. 4.2 zeigt eine Zusammenstellung der Messdaten in Stuttgart im Jahr 2004. An den Messdaten ist zu erkennen, dass die höchsten Immissionen an der Station Am Neckartor erfasst werden und auch an den anderen Straßenmessstationen teilweise hohe Belastungen auftreten. Die Messdaten der Station Stuttgart-Bad Cannstatt liegen unter denen der anderen Stuttgarter Messstationen.

Die Station Stuttgart-Bad Cannstatt wird als städtische Hintergrundstation (UBA-Katalog) eingestuft, obwohl eine Straße (Gnesener Straße) mit über 20 000 Kfz pro Tag wenige Meter daran vorbeiführt. Die Station Stuttgart-Zuffenhausen ist als städtisches Gebiet mit Verkehrseinfluss eingestuft und repräsentiert damit nicht die städtische Hintergrundbelastung.

	NO ₂ -I1 [µg/m ³]	NO ₂ -I2 [µg/m ³]	NO ₂ -Über- schreitung [Anzahl]	PM10-I1 [µg/m ³]	PM10-Über- schreitung [Anzahl]	Ruß-I1 [µg/m ³]
S-Bad Cannstatt	33	79	0	23	14	2.8
S-Zuffenhausen	40	104	0	27	29	3.8
S-Arnulf-Klett-Platz	77	156	5	34	42	6.5
Spot Neckartor	106	243	555	51	160	11.6
Spot Hohenheimer Straße	89	196	143	36	58	6.9
Spot Siemensstraße	97	215	293	37	65	8.3
Spot Waiblinger Straße	66	138	5	36	65	6.2
Spot Paulinenstraße	62	149	14	-	-	4.3

Tab. 4.2: Messdaten 2004 an den Messstationen in Stuttgart. I1 = Jahresmittelwert, I2 = 98-Perzentilwert, NO₂-Überschreitung = Anzahl der Stundenwerte über 200 µg/m³, PM10-Überschreitung = Anzahl der Tage über 50 µg/m³.

Aus der Zeitreihe der Messdaten der PM10-Tagesmittelwerte wurden die Tage selektiert, an denen an mindestens einer der betrachteten Stationen eine Überschreitung von 50 µg/m³ vorlag. Für diese PM10-Daten wurde durch die Gegenüberstellung der Messdaten der jeweiligen Straßenmessstation mit der Station Bad Cannstatt der Anteil der verkehrsbedingten Zusatzbelastung abgeleitet und gemittelt. Mit dieser Vorgehensweise wird der Anteil der PM10-Immissionen beschrieben, der im Rahmen von verkehrsbezogenen Minderungsmaßnahmen beeinflusst werden kann. In **Tab. 4.3** sind die ermittelten relativen Anteile der Zusatzbelastungen aufgeführt.

Straßenmessstation	Anteil [%] PM10	Anteil [%] NO ₂
S-Mitte-Straße	27	55
Spot Neckartor	55	65
Spot Hohenheimer Straße	34	61
Spot Siemenstrasse	34	62
Spot Waiblinger Straße	34	50
Spot Paulinenstraße	-	46

Tab. 4.3: Abgeleiteter Anteil der verkehrsbedingten PM10- und NO₂-Zusatzbelastung an den Straßenmessstationen für das Jahr 2004

Weiterhin wurden die Stundenwerte der gemessenen NO₂-Konzentrationen für die Stationen von Stuttgart zur Verfügung gestellt. Für diese NO₂-Daten wurde durch die Gegenüberstellung der Messdaten der jeweiligen Straßenmessstation mit der Station Bad Cannstatt der

Anteil der verkehrsbedingten Zusatzbelastung abgeleitet und gemittelt. Mit dieser Vorgehensweise wird der Anteil der NO₂-Immissionen beschrieben, der im Rahmen von verkehrsbezogenen Minderungsmaßnahmen beeinflusst werden kann. In **Tab. 4.3** sind die ermittelten relativen Anteile der Zusatzbelastungen aufgeführt.

Für die Anwendung der vorgestellten Emissionsermittlung und der darauf aufbauenden möglichen Maßnahmen werden entsprechend der Vorgehensweise des vorangegangenen Gutachtens (Lohmeyer, 2003/5261) Ausbreitungsrechnungen mit dem Berechnungsverfahren PROKAS und dem Bebauungsmodul PROKAS_B durchgeführt. Die in den Berechnungen anzusetzende Hintergrundbelastung wird aus dem Vergleich der Berechnungs- und Messergebnisse der städtischen Stationen Stuttgart-Bad Cannstatt und Stuttgart-Zuffenhausen abgeleitet und dann auf die verkehrsbeeinflussten Stationsstandorte angewendet, um einen Vergleich zwischen den Mittelwerten der Messdaten und den Berechnungsergebnissen zu erhalten.

Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen für die Stationen in Stuttgart sind basierend auf den Verkehrsbelegungsdaten für das Netz 2005 und den Emissionsfaktoren für das Jahr 2005 in **Tab. 4.4** aufgeführt. Die berechneten NO₂-Belastungen weisen an den städtischen Stationen und einer Straßenmessstation eine gute Übereinstimmung mit den Messdaten auf, an den anderen Straßenmessstationen weisen die Berechnungen eine Unterschätzung auf. Für die NO₂-Jahresmittel sind an allen Straßenmessstellen Überschreitungen des zukünftigen Grenzwertes von 40 µg/m³ und des Übergangsbeurteilungswertes für das Jahr 2005 von 50 µg/m³ berechnet; dort weisen auch die Messdaten Überschreitungen aus. Entsprechend den Anforderungen der 22. BImSchV an die Genauigkeit der Modellrechnungen wird für die Stationen Spot-Neckartor und Spot-Hohenheimer Straße diese Anforderung nicht ganz eingehalten. Die berechneten PM₁₀-Jahresmittelwerte weisen an den Straßenmessstellen eher eine Überschätzung der Messwerte auf. Während an einer der Messstationen eine Überschreitung des Grenzwertes von 40 µg/m³ gemessen ist, weisen die Berechnungen für vier der PM₁₀-Messstationen Überschreitungen aus. Entsprechend den Anforderungen der 22. BImSchV an die Genauigkeit der Modellrechnungen wird für die Station Spot-Siemensstraße diese Anforderung nicht ganz eingehalten. Die berechneten Ruß-Jahresmittelwerte weisen an den Straßenmessstellen eher eine Überschätzung der Messwerte auf. Für die Rußimmissionen sind an zwei Straßenmessstellen Überschreitungen des Prüfwertes von 8 µg/m³ der mittlerweile zurückgezogenen 23. BImSchV berechnet; dort weisen auch die Messdaten Überschreitungen aus.

	NO ₂ -I1G [µg/m ³]	NO ₂ -I2G [µg/m ³]	PM10-I1G [µg/m ³]	Ruß-I1G [µg/m ³]
S-Bad Cannstatt	36	80	24	3.1
S-Zuffenhausen	40	91	25	3.3
S-Arnulf-Klett-Platz	67	129	43	7.4
Spot Neckartor	82	171	66	12.8
Spot Hohenheimer Straße	66	135	41	7.3
Spot Siemensstraße	84	173	60	12.0
Spot Waiblinger Straße	53	101	32	4.8
Spot Paulinenstraße	64	123	42	6.9

Tab. 4.4: Berechnete Immissionen an den Messstationen in Stuttgart.

Mit der selben Vorgehensweise wurden basierend auf den prognostizierten Verkehrsbelastungsdaten für das Jahr 2010 unter Berücksichtigung von wesentlichen Änderungen im Straßennetz, z.B. der Inbetriebnahme des Pragsatteltunnels, Immissionsberechnungen für die genannten Maßnahmen und Jahre durchgeführt. Die Ergebnisse werden zusammenfassend für die genannten Straßenabschnitte als relative Änderungen dargestellt, um die Auswirkungen der Maßnahmen und zeitlichen Entwicklungen der Kfz-Flotte auf die Gesamtbelastungen zu beschreiben.

In **Abb. 4.4** ist der relative Vergleich der berechneten PM10-Belastungen für die Jahre 2007 und 2012 sowie für die Maßnahmen M1, M2 und M3 aufgezeigt. Die PM10-Immissionen weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 91 %-99 %, im Jahr 2007 ca. 96 %-98 %, mit der Maßnahme M2 ca. 93 %-98 %, im Jahr 2012 ca. 88 %-97 % und mit der Maßnahme M3 ca. 87 %-95 % der Gesamtbelastungen des Jahres 2005 auf. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten PM10-Beiträge wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt, wobei mit dem LKW-Durchfahrtsverbot (M1) auf Straßenabschnitten mit hohem LKW-Anteil relativ beträchtliche Minderungen zu erwarten sind, indem die Immissionen um ca. 9 % verringert werden. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer Verringerung der PM10-Gesamtbelastungen bezogen auf das Referenzjahr um bis zu 3 % gegenüber den Zuständen ohne Maßnahmen.

Die Betrachtungen für Feinstaub werden hinsichtlich der Auswirkungen auf die Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ auch auf die Messdaten übertragen.

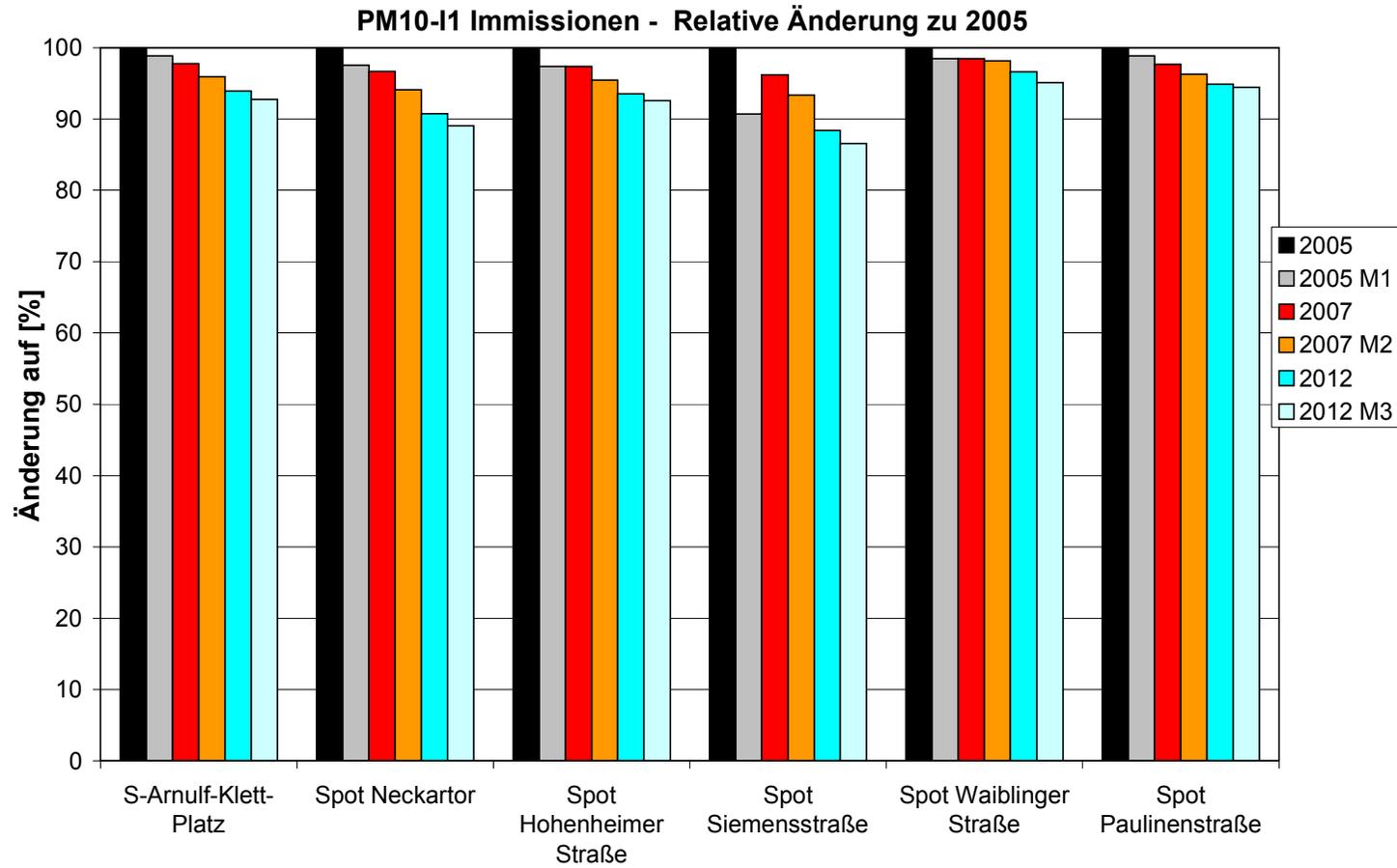


Abb. 4.4: Relative Änderung der PM10-Immissionen zum Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

Abb. 4.5 zeigt die für die Jahre 2007 und 2012 sowie die Maßnahmen M1, M2 und M3 abgeleitete Anzahl der Überschreitungen für die Straßenabschnitte. Danach sind an Straßenabschnitten mit sehr hoher Verkehrsbelegung bzw. hohem LKW-Anteil Verringerungen der Anzahl der Tage mit Überschreitungen festzustellen. An den anderen Stationen sind nur geringe Verringerungen der Tage mit Überschreitungen der PM10-Tagesmittelwerte bzw. an der Station Spot-Waiblinger Straße keine Änderungen prognostiziert. Diese Effekte sind damit zu erklären, dass die Minderung der verkehrsbedingten PM10-Beiträge nicht so groß ist, dass ausgehend von den Messdaten des Jahres 2004 damit eine zusätzliche Unterschreitung des Schwellenwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ verbunden ist. Zudem ist zu erkennen, dass mit den prognostizierten Auswirkungen der Maßnahmen nicht ein Unterschreiten des Kurzzeitbelastungsgrenzwertes zu erwarten ist. In **Abb. 4.6** ist die relative Änderung der Tage der Überschreitungen aufgetragen. An der Siemensstraße sind gegenüber dem Referenzzustand 2005 noch ca. 78 % der Anzahl der Tage mit Überschreitungen im Jahr 2012 zu erwarten. Bei den anderen Maßnahmen und Straßenabschnitten sind deutlich geringere Verringerungen prognostiziert. Im Anhang A3 sind die berechneten PM10-Immissionen für die Maßnahme M3 für alle Hauptverkehrsstraßen in **Abb. A3.2** grafisch dargestellt.

Ergänzend zu den Feinstaubbelastungen werden auch die Auswirkungen auf die Russbelastungen in **Abb. 4.7** aufgezeigt. Die Russimmissionen weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 89 %-99 %, im Jahr 2007 ca. 91 %-95 %, mit der Maßnahme M2 ca. 84 %-92 %, im Jahr 2012 ca. 74 %-87 % und mit der Maßnahme M3 ca. 70 %-86 % der Gesamtbelastungen des Jahres 2005 auf. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten Rußbelastungen wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt, wobei mit dem LKW-Durchfahrtsverbot (M1) auf Straßenabschnitten mit hohem LKW-Anteil relativ beträchtliche Minderungen zu erwarten sind, indem die Immissionen um ca. 11 % verringert werden. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer Verringerung der Ruß-Gesamtbelastungen bezogen auf das Referenzjahr um 3 % bis 7 % gegenüber den Zuständen ohne Maßnahmen. Damit ist zu erwarten, dass eine intensivere Verringerung der motorbedingten Beiträge gegenüber der gesamten PM10-Freisetzung zu erwarten ist.

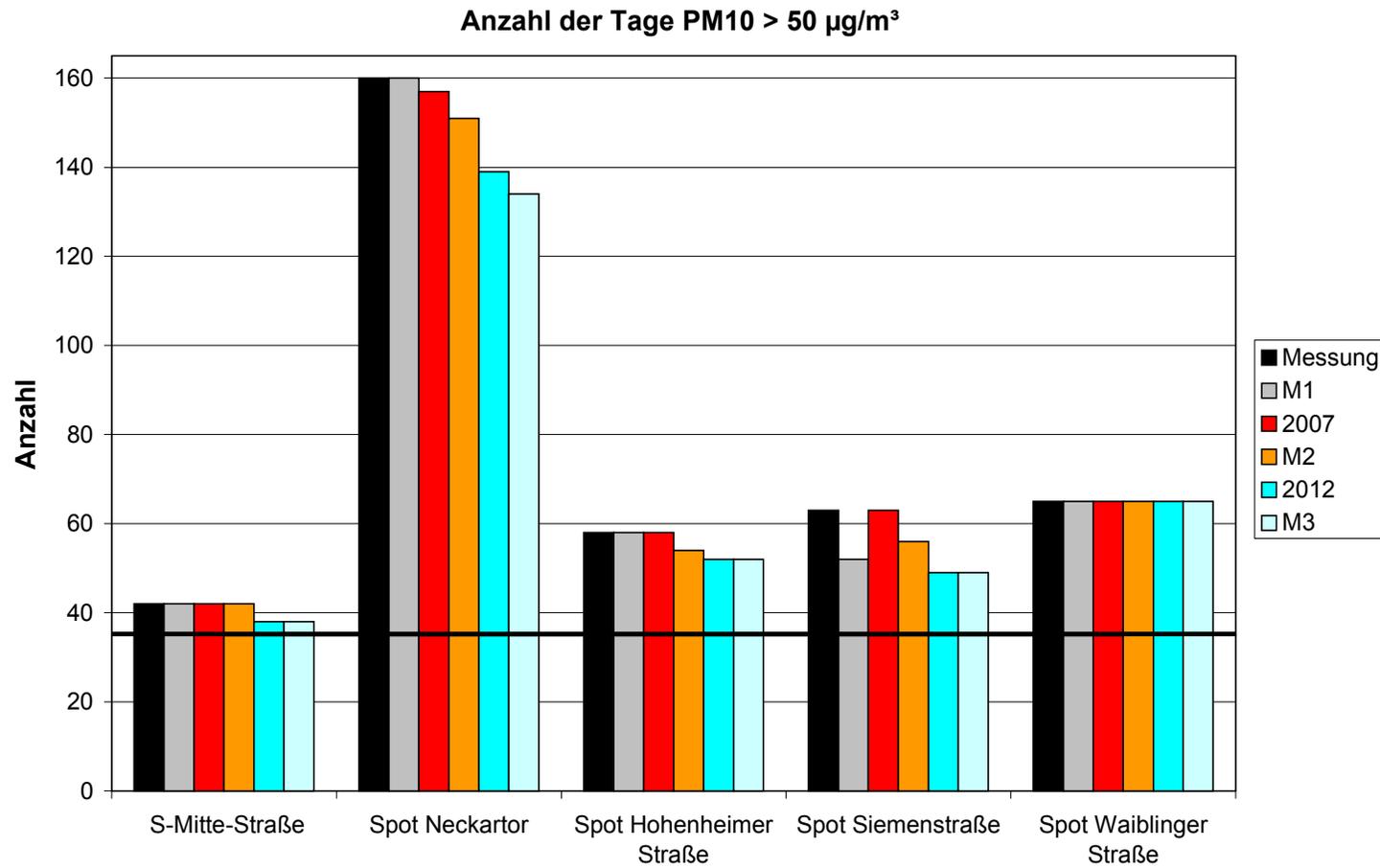


Abb. 4.5: Anzahl der Tage mit PM10-Überschreitungen > 50 µg/m³ für die betrachteten Jahre und Maßnahmen.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

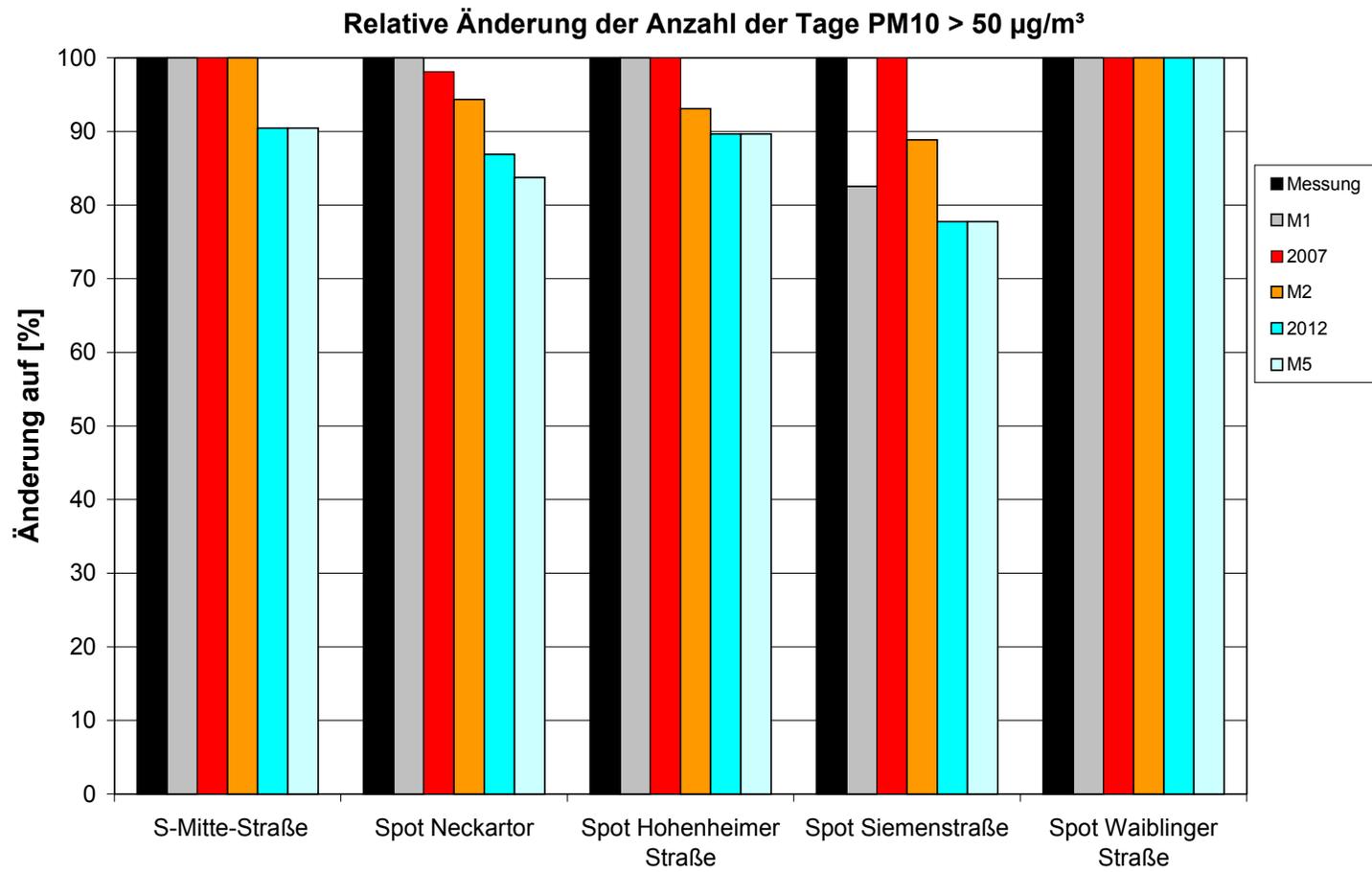


Abb. 4.6: Relative Änderung der Anzahl der Tage mit PM10-Überschreitungen > 50 µg/m³ zum Referenzzustand 2005 für die fünf Straßenabschnitte.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

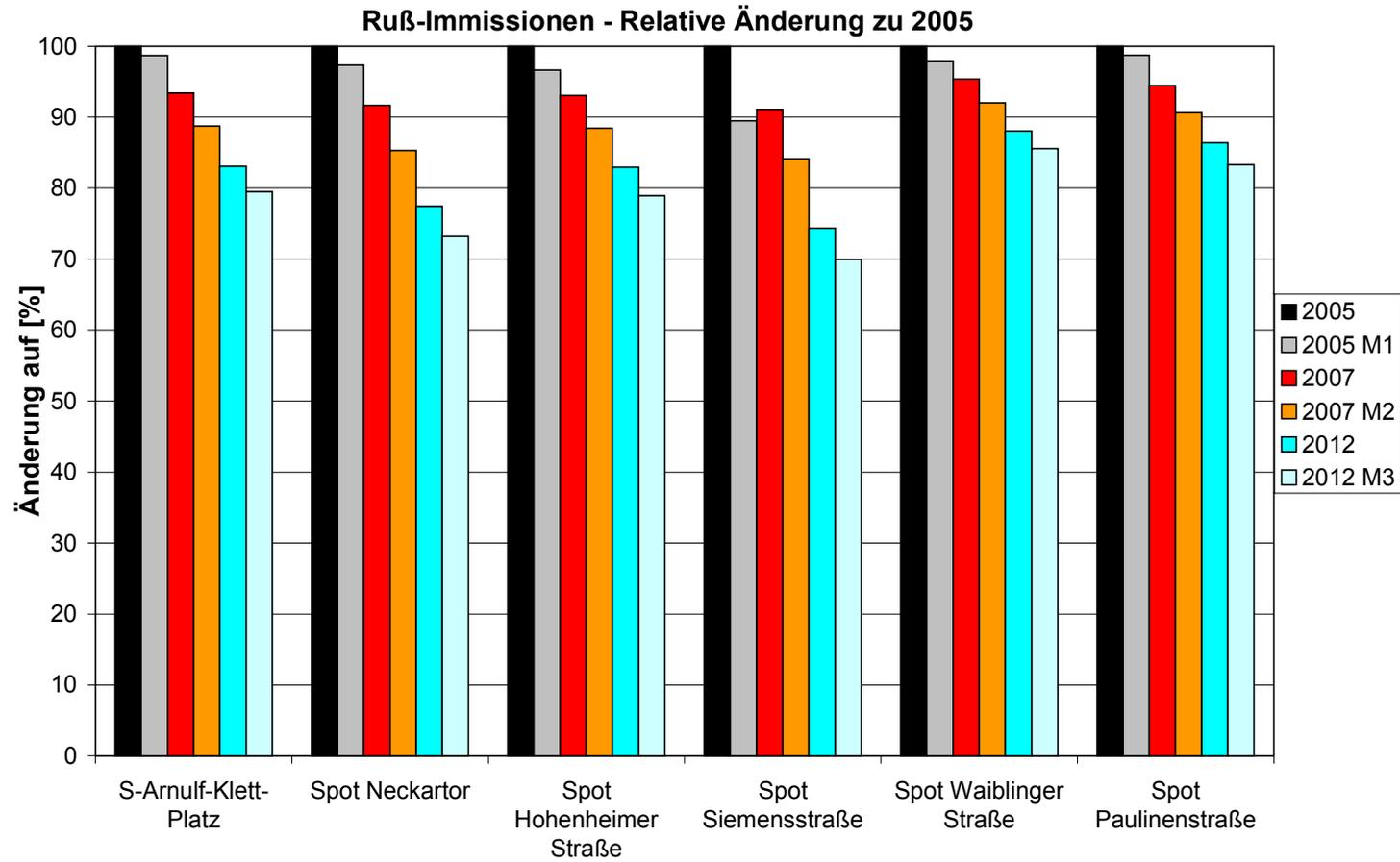


Abb. 4.7: Relative Änderung der Ruß-Immissionen zum Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

In **Abb. 4.8** ist der relative Vergleich der berechneten NO₂-Belastungen für die Jahre 2007 und 2012 sowie für die Maßnahmen M1, M2 und M3 aufgezeigt. Die NO₂-Jahresmittelwerte weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2005 mit der Maßnahme M1 ca. 96 %-99 %, im Jahr 2007 ca. 95 %-98 %, mit der Maßnahme M2 ca. 94 %-97 %, im Jahr 2012 ca. 84 %-91 % und mit der Maßnahme M3 ca. 82 %-89 % der Gesamtbelastungen des Jahres 2005 auf. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten NO₂-Belastungen wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung führen zu einer Verringerung der NO₂-Gesamtbelastungen bezogen auf das Referenzjahr um bis zu 2 % gegenüber den Zuständen ohne Maßnahmen. Im Anhang A3 sind die berechneten NO₂-Immissionen für die Maßnahme M3 für alle Hauptverkehrsstraßen in Abb. A3.1 grafisch dargestellt.

Die Betrachtungen für NO₂ werden hinsichtlich der Auswirkungen auf die Anzahl der Stundenwerte von 200 µg/m³ auch auf die Messdaten übertragen. **Abb. 4.9** zeigt die für die Jahre 2007 und 2012 sowie die Maßnahmen M1, M2 und M3 abgeleitete Anzahl der Überschreitungen für die Straßenabschnitte. Danach sind an Straßenabschnitten mit sehr hoher Verkehrsbelegung bzw. hohem LKW-Anteil deutliche Verringerungen der Anzahl der Überschreitungen festzustellen. Dort liegen derzeit deutliche Überschreitungen des ab dem Jahr 2010 geltenden Grenzwertes von 18 Überschreitungen vor, die bis zum Jahr 2012 bis auf die Station Spot-Neckartor bis zur Einhaltung verringert werden. An den anderen Stationen sind nur geringe Verringerungen der Überschreitungen der NO₂-Stundenwerte prognostiziert, wobei an diesen Stationen auch derzeit keine Überschreitungen festgestellt werden. Weiterhin ist in **Abb. 4.9** gestrichelt der bis 2010 geltende Kurzzeitbelastungsgrenzwert, ausgedrückt als 175 Überschreitungen des Stundenwertes von 200 µg/m³, eingetragen, der mit den Maßnahmen nur Am Neckartor überschritten wird. In **Abb. 4.10** ist die relative Änderung der Anzahl der Überschreitungen der NO₂-Stundenwerte aufgetragen. Bis zum Jahr 2012 sind sehr deutliche Verringerungen der Überschreitungen zu erwarten.

Insgesamt ist aus den Ergebnissen der Berechnungen zu schließen, dass mit der Erneuerung der Kfz-Fahrzeugflotte deutliche Verringerungen der motorbedingten Schadstofffreisetzungen verbunden sind, die auch zu deutlichen Verringerungen der NO₂- und Russbelastungen führen. Da an den Hauptverkehrsstraßen der verkehrsbedingte Anteil an diesen Immissionen hoch ist, werden die Gesamtbelastungen durch Verringerungen der Zusatzbelastungen des Kfz-Verkehrs auch deutlich reduziert. Allerdings zeigen die Berechnungen,

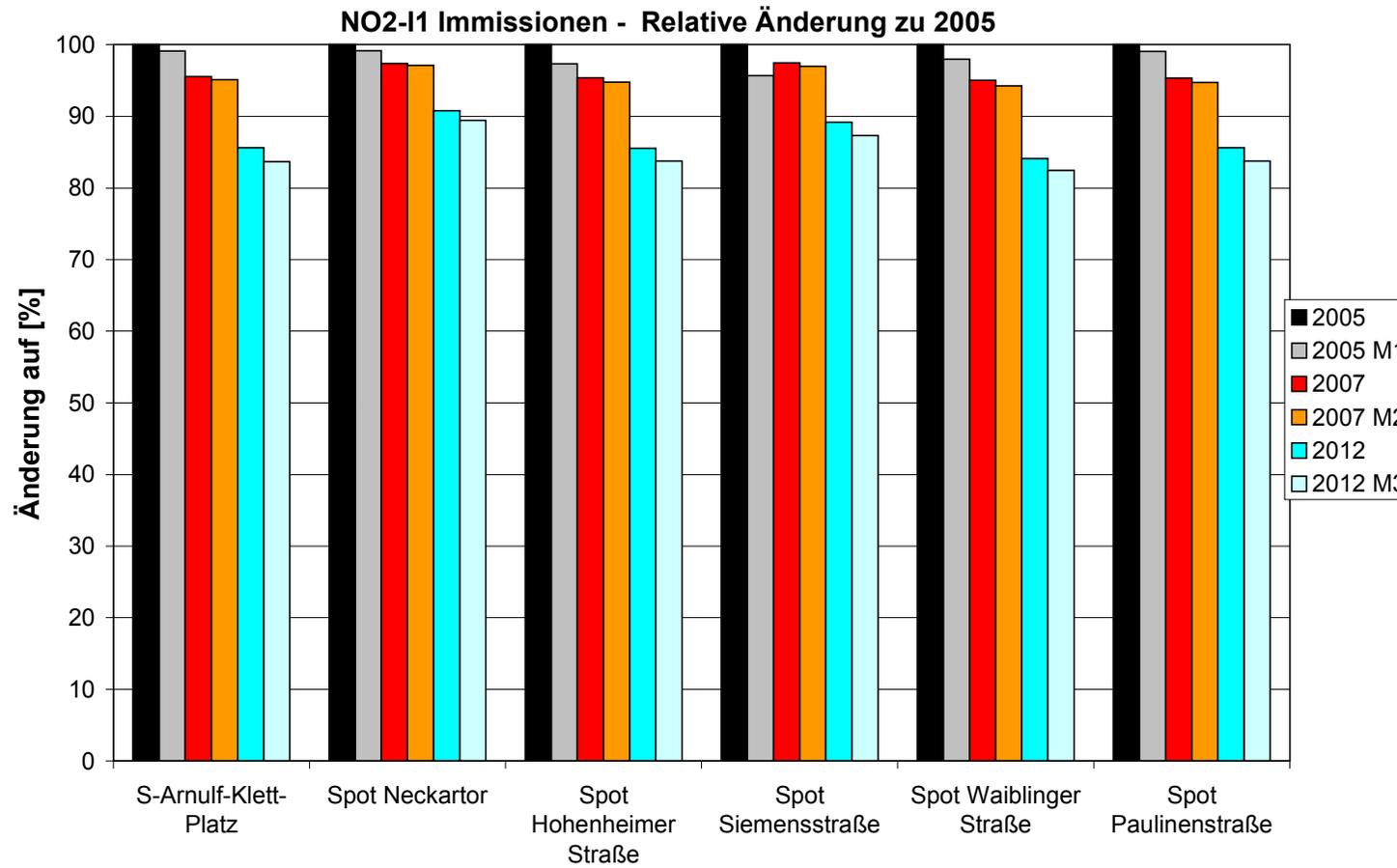


Abb. 4.8: Relative Änderung der NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) zum Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

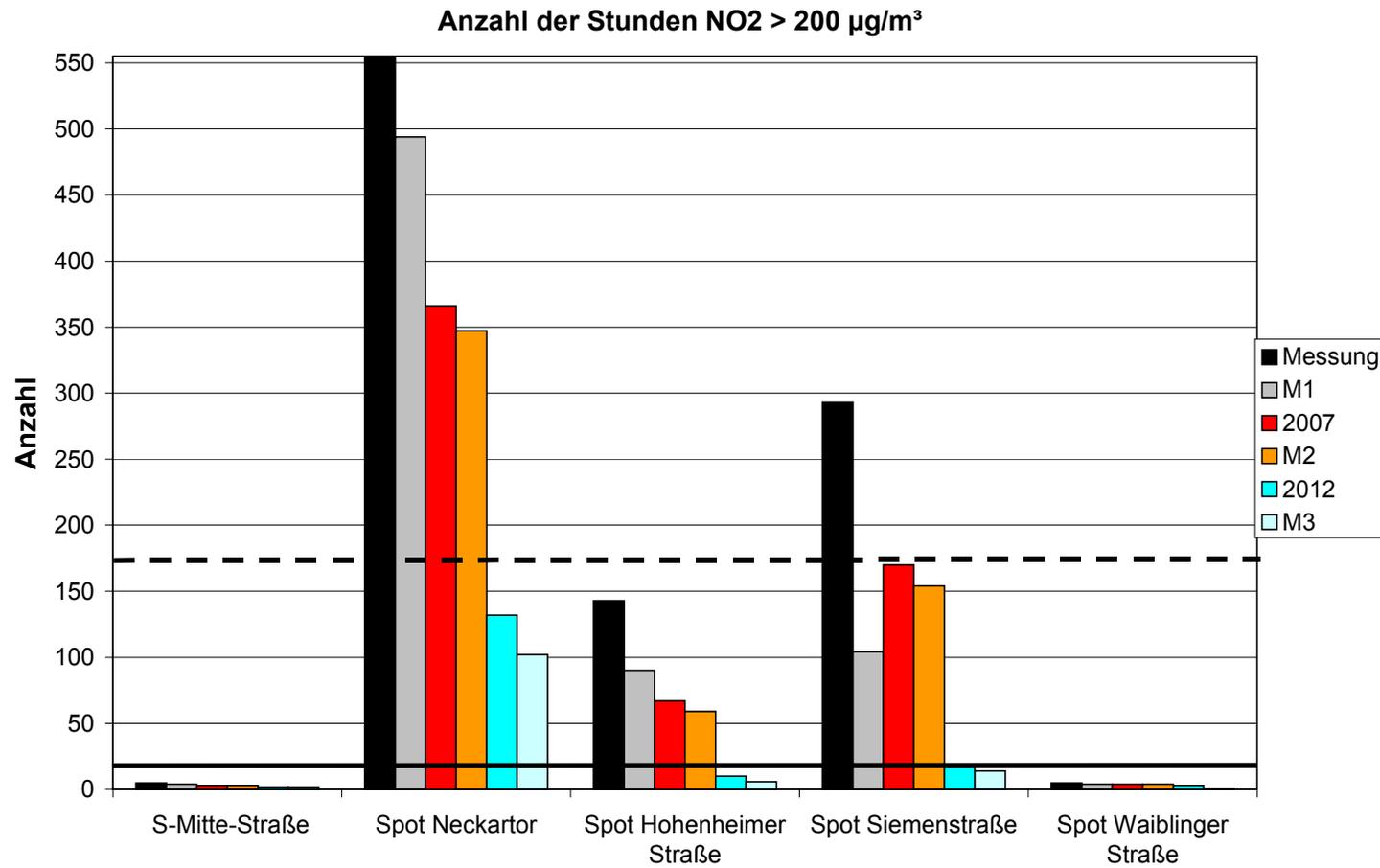


Abb. 4.9: Anzahl der Stunden mit NO₂-Überschreitungen (Stundenwert) > 200 µg/m³ für die betrachteten Jahre und Maßnahmen.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

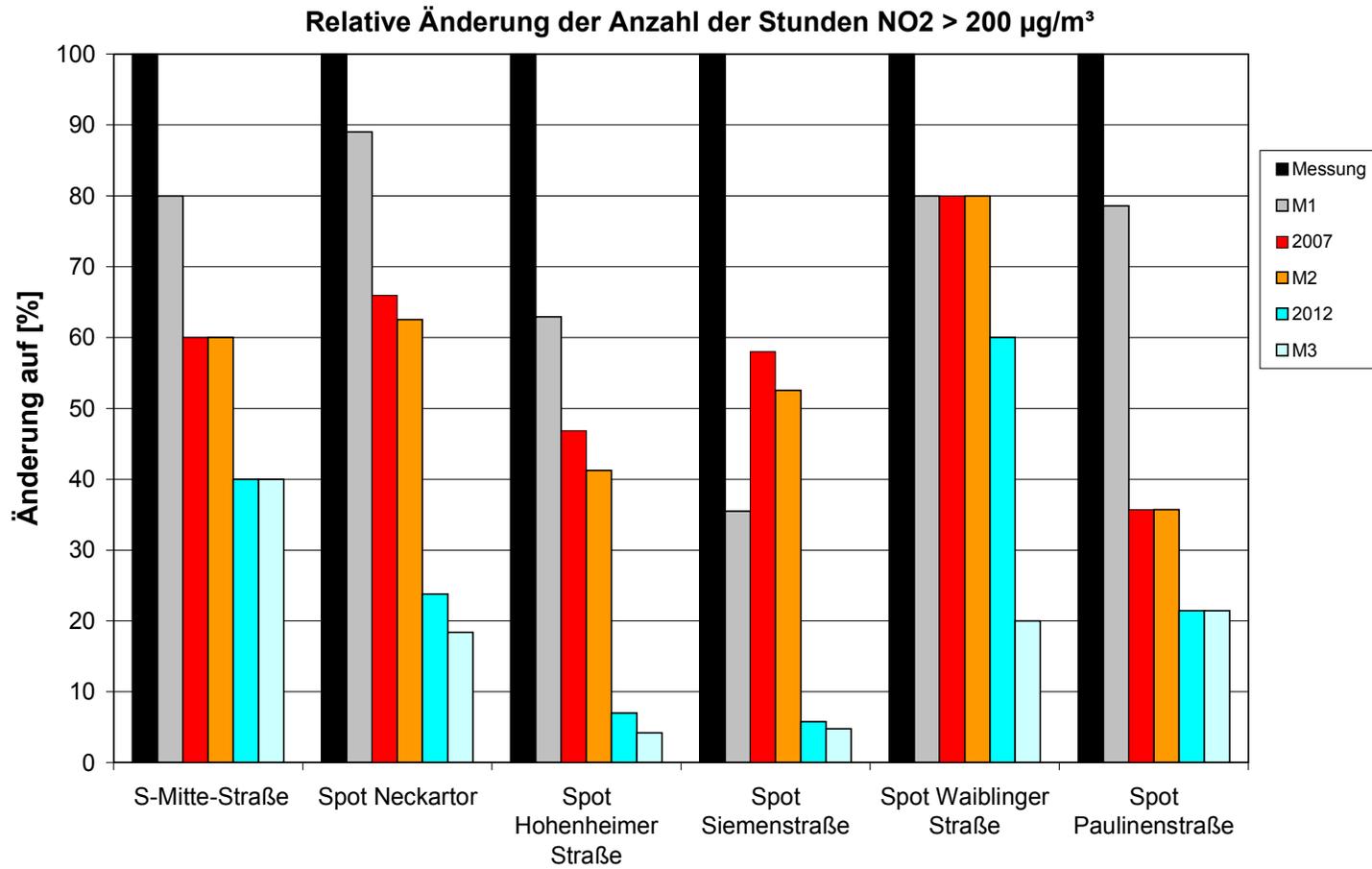


Abb. 4.10: Relative Änderung der NO₂-Stundenüberschreitungen (Stundenwert) > 200 µg/m³ zum Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

dass die Auswirkungen der Maßnahmen entsprechend der Kennzeichnungsverordnung (M2 und M3) gegenüber der zeitlichen Entwicklung bis 2012 deutlich geringer sind. Die Reduzierung der Feinstaubbelastungen durch die zeitliche Entwicklung der Fahrzeugflotte und die betrachteten Maßnahmen weisen einen geringeren Umfang auf, was vor allem an den nicht motorbedingten PM10-Beiträgen des Kfz-Verkehrs und dem insgesamt geringeren Anteil der verkehrsbedingten Beiträge an der PM10-Gesamtbelastung gegenüber den anderen betrachteten Schadstoffen liegt. Wirkungsvolle Verringerungen sind für PM10 durch Reduzierungen des Kfz-Verkehrs erreichbar, wie die Ausführungen in der vorangegangenen Studie „Maßnahmenbetrachtungen zu PM10 in Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen“ (Lohmeyer, 2004) belegen und die Betrachtungen des LKW-Durchfahrtsverbots andeuten.

Ergänzend zu den Betrachtungen der Maßnahmen M2 und M3 sind im Anhang A2 die Auswirkungen der im Luftreinhalte-/Aktionsplan Stuttgart genannten ehemaligen Maßnahmen M2 ehem. bis M5 ehem. aufgeführt.

5 LITERATUR

22. BImSchV (2002): Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Immissionswerte). In: BGBl. I, Nr. 66 vom 17.09.2002, S. 3626.
- BAST (1986): Straßenverkehrszählungen 1985 in der Bundesrepublik Deutschland. Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Schriftenreihe Straßenverkehrszählungen, Heft 36. Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bergisch Gladbach, 1986. Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- BAST (2005): PM10-Emissionen an Außerortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM10-Konzentrationen aus Messungen an der A 1 Hamburg und Ausbreitungsrechnungen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 125, Bergisch-Gladbach, Juni 2005.
- Brück, R., Diring, J. (2005): Der PM-Filterkatalysator: Ein Diesel-Oxidationskatalysator mit Partikelminderung der nächsten Generation.
- Düring, I., Lohmeyer, A. (2004): Modellierung nicht motorbedingter PM10-Emissionen von Straßen. KRdL-Experten-Forum „Staub und Staubinhaltsstoffe“, 10./11. November 2004, Düsseldorf. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, KRdL-Schriftenreihe Band 33.
- Fahverbote nach IG-L (2004): Luftreinhaltemaßnahmen nach dem Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L): LKW-Nachtfahrverbot und sektorales Fahrverbot. Ausstattung von Baumaschinen mit Partikelfiltern. www.tirol.gv.at/Themen/Umwelt/Luft/nachtfahrverbot.shtml.
- Filliger, P., Puybonnieux-Textier, V., Schneider, J. (1999): PM10 Population Exposure - Technical Report on Air Pollution, Prepared for the WHO Ministerial Conference for Environment and Health, London, June 1999, Published by Federal Department of Environment, Transport, Energy and Communications Bureau for Transport Studies, Berne, Switzerland.
- Flassak, Th., Bächlin, W., Bössinger, R., Blazek, R., Schädler, G., Lohmeyer, A. (1996): Einfluss der Eingangparameter auf berechnete Immissionswerte für KFZ-Abgase - Sensitivitätsanalyse. In: FZKA PEF-Bericht 150, Forschungszentrum Karlsruhe.

- IFEU (2004): Auswirkungen neuer Erkenntnisse auf die Berechnungen der Partikel- und NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs. Kurzstudie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg.
- Kutzner, K., Diekmann, H., Reichenbacher, W. (1995): Luftverschmutzung in Straßenschluchten - erste Messergebnisse nach der 23. BImSchV in Berlin. VDI-Bericht 1228, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Lohmeyer (2003): Luftschadstoffbelastungen an Stuttgarter Hauptverkehrsstraßen für die Jahre 2005 und 2010. Ingenieurbüro Dr.-Ing. Achim Lohmeyer, Karlsruhe, Projekt 5261, September 2003. Gutachten im Auftrag der Landeshauptstadt Stuttgart.
- Lohmeyer (2004): Maßnahmebetrachtungen zu PM10 im Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Projekt 60277, Dezember 2004. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Stuttgart.
- Lohmeyer (2005): Ergänzung zum Bericht Maßnahmebetrachtungen zu PM10 im Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Projekt 60277E, Januar 2005. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Stuttgart.
- LRP Stuttgart (2005): Luftreinhalte-/Aktionsplan für den Regierungsbezirk Stuttgart. Teilplan Landeshauptstadt Stuttgart. Maßnahmenplan zur Minderung der PM10- und NO₂-Belastungen. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Stuttgart.
- Röckle, R., Richter, C.-J. (1995): Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen -. Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Romberg, E., Bösing, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-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).
- Tartovsky, L., Hausberger, S, Gutman, M, Veinblat, M, Zvirin, Y (2005): Retrofit Aftertreatment Systems for Diesel Engines. Proceedings 14. International Conference Transport and Air Pollution Graz 2005.

Twin-Tec (2005): Fragen und Antworten zum wartungsfreien Twin-Tec-Rußfilterkat zur Nachrüstung von PKW, leichten und schweren Nutzfahrzeugen.

UBA (1995) (Hassel, D., Jost, P., Weber, F.J., Dursbeck, F.): Abgas-Emissionsfaktoren von Nutzfahrzeugen in der Bundesrepublik Deutschland für das Bezugsjahr 1990. Abschlussbericht. Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit - Luftreinhaltung. UBA-FB 95-049. UBA-Berichte 5/1995.

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

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

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

A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION

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

A1.1 Berechnung der Immissionen mit PROKAS_V

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

Die Parametrisierung der Umwandlung des von Kraftfahrzeugen hauptsächlich emittierten NO in NO₂ erfolgt nach Romberg et al. (1996).

A1.2 Berechnung der Immissionen in Straßen mit dichter Randbebauung mit PROKAS_B

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

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

Aus den dimensionslosen Konzentrationen errechnen sich die vorhandenen Abgaskonzentrationen c zu

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

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

Die Konzentrationsbeiträge von PROKAS_V für die Vorbelastung und von PROKAS_B werden für jede Einzelsituation, also zeitlich korreliert, zusammengefasst.

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

Tab. A1.1: Typisierung der Straßenrandbebauung

A1.3 Fehlerdiskussion

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A N H A N G A 2:
AUSWIRKUNGEN DER EHEMALIGEN MASSNAHMEN M2-EHEM. BIS M5-EHEM.

A2 AUSWIRKUNGEN DER EHEMALIGEN MASSNAHMEN M2-EHEM. BIS M5-EHEM.

Die in dieser Studie berechneten Auswirkungen der betrachteten Maßnahmen zum Luftreinhalte-/ Aktionsplan für die Landeshauptstadt Stuttgart wurden auch für die im Berichtszustand Juni 2005 genannten Maßnahmen M2 bis M5, die hier den Zusatz „ehem.“ für ehemals erhalten, da sie mit der aktuellen Kennzeichnungsverordnung überarbeitet sind, durchgeführt. Das sind folgende Maßnahmen:

M2 ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2007 für Diesel-Kfz schlechter EURO 1 mit Befreiungsmöglichkeit bei Nachrüstung eines Partikelfilters

M3 ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2008 für Diesel-Kfz schlechter EURO 2 mit Befreiungsmöglichkeit bei Nachrüstung eines Partikelfilters

M4 ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2010 für alle Kfz schlechter EURO 2

M5 ehem. Ganzjähriges Fahrverbot im Stadtgebiet Stuttgart ab 2012 für alle Kfz schlechter EURO 3

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Berechnungen für die Emissionen und die Immissionen als relative Darstellungen bezogen auf den Referenzzustand im Jahr 2005 aufgezeigt, wobei die Maßnahme M1 „Ganzjähriges Lkw-Durchfahrtsverbot (Lieferverkehr frei) im Stadtgebiet Stuttgart ab 2006“ ebenfalls dargestellt wird.

Die Maßnahmen M2 ehem. und M3 ehem. mit Fahrverboten betreffen jeweils nur Diesel-Kfz, die Maßnahmen M4 ehem. und M5 ehem. mit Fahrverboten für Kfz schlechter der genannten EURO-Ausstattung betreffen alle Kfz. Damit sind gegenüber der Kennzeichnungsverordnung mit den Maßnahmen M2 ehem. und M3 ehem. die Fahrten der Kfz mit Ottomotoren nicht betroffen. Mit den Maßnahmen M4 ehem. und M5 ehem. sind mehr Fahrten von Kfz mit Ottomotoren gegenüber der Kennzeichnungsverordnung betroffen.

Abb. A2.1 bis **Abb. A2.3** zeigen die Auswirkungen auf die Emissionen für die betrachteten Straßenabschnitte als relative Darstellungen bezogen auf die Emissionsmodellierung des Ausgangszustandes im Bezugsjahr 2005.

Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen auf bis zu 58 % wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt (**Abb. A2.1**). Die beschriebenen Maßnahmen führen zu einer Beschleunigung der NO_x-Emissionsminderungen, die mit zunehmenden Jahren auch so durch die Flottenumstellungen zu erwarten sind.

Auch bei PM10 wird die intensivste Minderung der verkehrsbedingten PM10-Emissionen auf bis zu 80 % durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt (**Abb. A2.2**). 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 hinsichtlich der Verringerung der motorbedingten PM10-Emissionen werden durch die gleich bleibenden Anteile der nicht motorbedingten Beiträge deutlich abgeschwächt, da auch PKW und leichte Nutzfahrzeuge ohne Dieselmotor zu den Aufwirbelungen beitragen. Die „nicht motorbedingten“ Beiträge der PM10-Belastungen sind überwiegend der gröberen Fraktion zuzuschreiben und damit gegenüber den sehr feinen motorbedingten Partikeln weniger lungengängig.

Die verkehrsbedingten Russmissionen werden durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 auf bis zu 63 % verringert (**Abb. A2.3**).

In **Abb. A2.4** bis **Abb. A2.10** sind die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Immissionen an den ausgewählten Straßenabschnitten aufgeführt.

Die intensivste Minderung der PM10-Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen wird durch die Änderung der Kfz-Flotte bis zum Jahr 2012 bewirkt, wobei die Immissionen auf bis zu 87 % des Ausgangszustandes verringert werden (**Abb. A2.4**). Die Betrachtungen für Feinstaub werden hinsichtlich der Auswirkungen auf die Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ auch auf die Messdaten übertragen. **Abb. A2.5** zeigt die abgeleitete Anzahl der Überschreitungen für die Straßenabschnitte. Danach sind an Straßenabschnitten mit sehr hoher Verkehrsbelegung bzw. hohem LKW-Anteil Verringerungen der Anzahl der Tage mit Überschreitungen festzustellen. An den anderen Stationen sind nur geringe Verringerungen der Tage mit Überschreitungen der PM10-Tagesmittelwerte bzw. an der Station Spot-Waiblinger Straße keine Änderungen prognostiziert. Diese Effekte sind damit zu erklären, dass die Minderung der verkehrsbedingten PM10-Beiträge nicht so groß ist, dass ausgehend von den Messdaten des Jahres 2004 damit eine zusätzliche Unterschreitung des Schwellenwertes von 50 µg/m³ verbunden ist. Zudem ist zu erkennen, dass mit den prognostizierten Auswirkungen der Maßnahmen nicht ein Unterschreiten des

Kurzzeitbelastungsgrenzwertes zu erwarten ist. In **Abb. A2.6** ist die relative Änderung der Tage der Überschreitungen aufgetragen. An der Siemensstraße sind gegenüber dem Referenzzustand 2005 noch ca. 78 % der Anzahl der Tage mit Überschreitungen im Jahr 2012 zu erwarten. Bei den anderen Maßnahmen und Straßenabschnitten sind deutlich geringere Verringerungen prognostiziert.

Die Russimmissionen werden weitestgehend durch die Maßnahme M5 im Jahr 2012 auf bis zu 70 % des Referenzzustandes 2005 verringert (**Abb. A2.7**).

In **Abb. A2.8** ist der relative Vergleich der berechneten NO₂-Belastungen aufgezeigt. Die NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) werden weitestgehend durch die Maßnahme M5 im Jahr 2012 auf bis zu 81 % des Referenzzustandes 2005 verringert. Die Betrachtungen für NO₂ werden hinsichtlich der Auswirkungen auf die Anzahl der Stundenwerte von 200 µg/m³ auch auf die Messdaten übertragen. **Abb. A2.9** zeigt die abgeleitete Anzahl der Überschreitungen für die Straßenabschnitte. Danach sind an Straßenabschnitten mit sehr hoher Verkehrsbelegung bzw. hohem LKW-Anteil deutliche Verringerungen der Anzahl der Überschreitungen festzustellen. Dort liegen derzeit deutliche Überschreitungen des Grenzwertes vor, die bis zum Jahr 2012 bis auf die Station Spot-Neckartor bis zur Einhaltung verringert werden. Weiterhin ist gestrichelt der bis 2010 geltende Kurzzeitbelastungsgrenzwert, ausgedrückt als 175 Überschreitungen des Stundenwertes von 200 µg/m³, eingetragen, der mit den Maßnahmen nur Am Neckartor überschritten wird. In **Abb. A2.10** ist die relative Änderung der Anzahl der Überschreitungen der NO₂-Stundenwerte aufgetragen. Bis zum Jahr 2012 sind sehr deutliche Verringerungen der Überschreitungen zu erwarten.

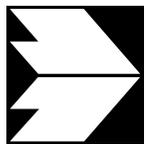
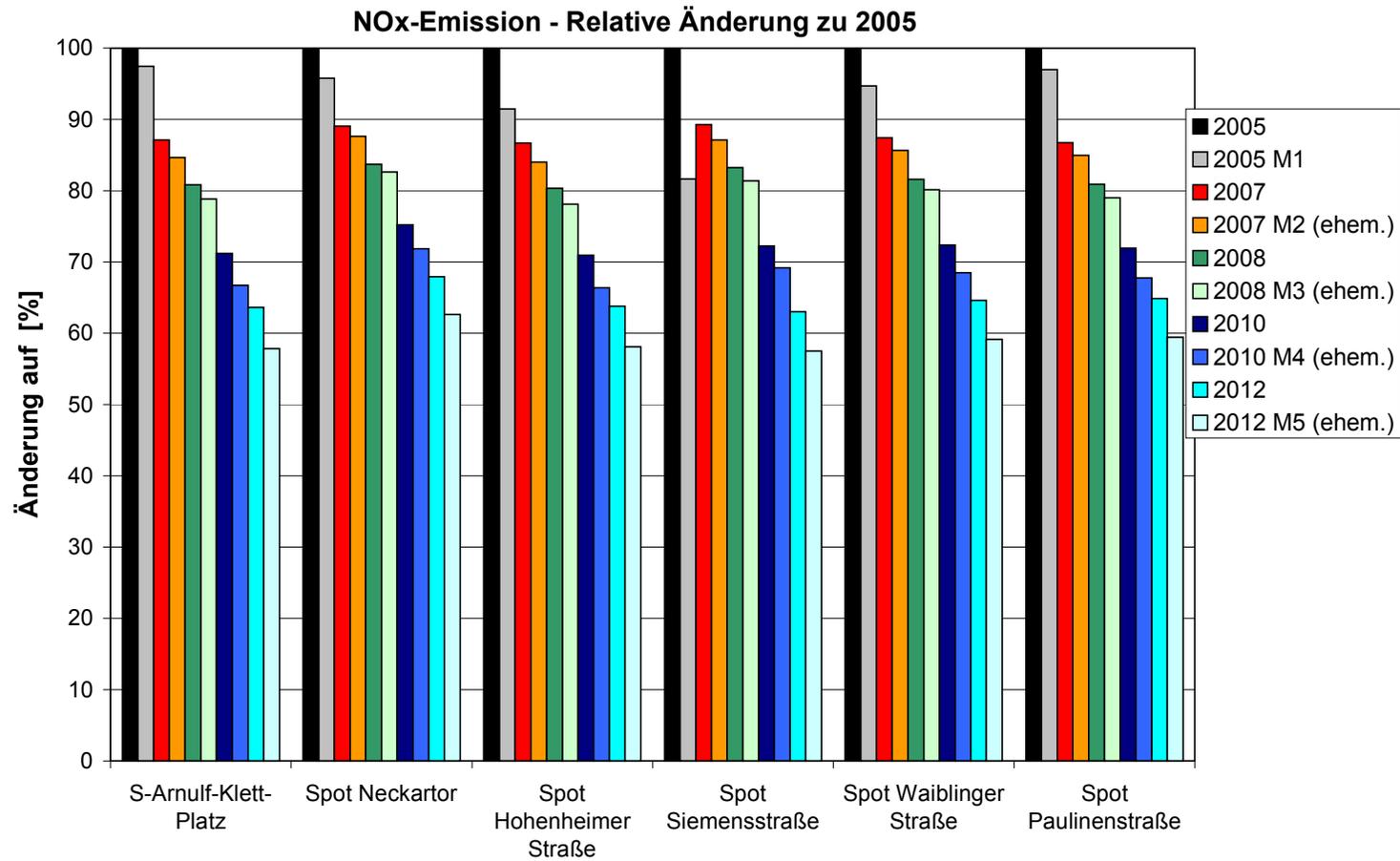


Abb. A2.1: Relativer Anteil der NO_x-Emissionen am Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte für die im LRP/AP Stuttgart aufgeführten Maßnahmen.
 Die Bezeichnung "ehem." steht für ehemalige Maßnahmen, die durch die Kennzeichnungsverordnung ersetzt werden.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

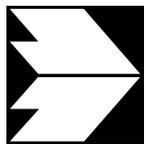
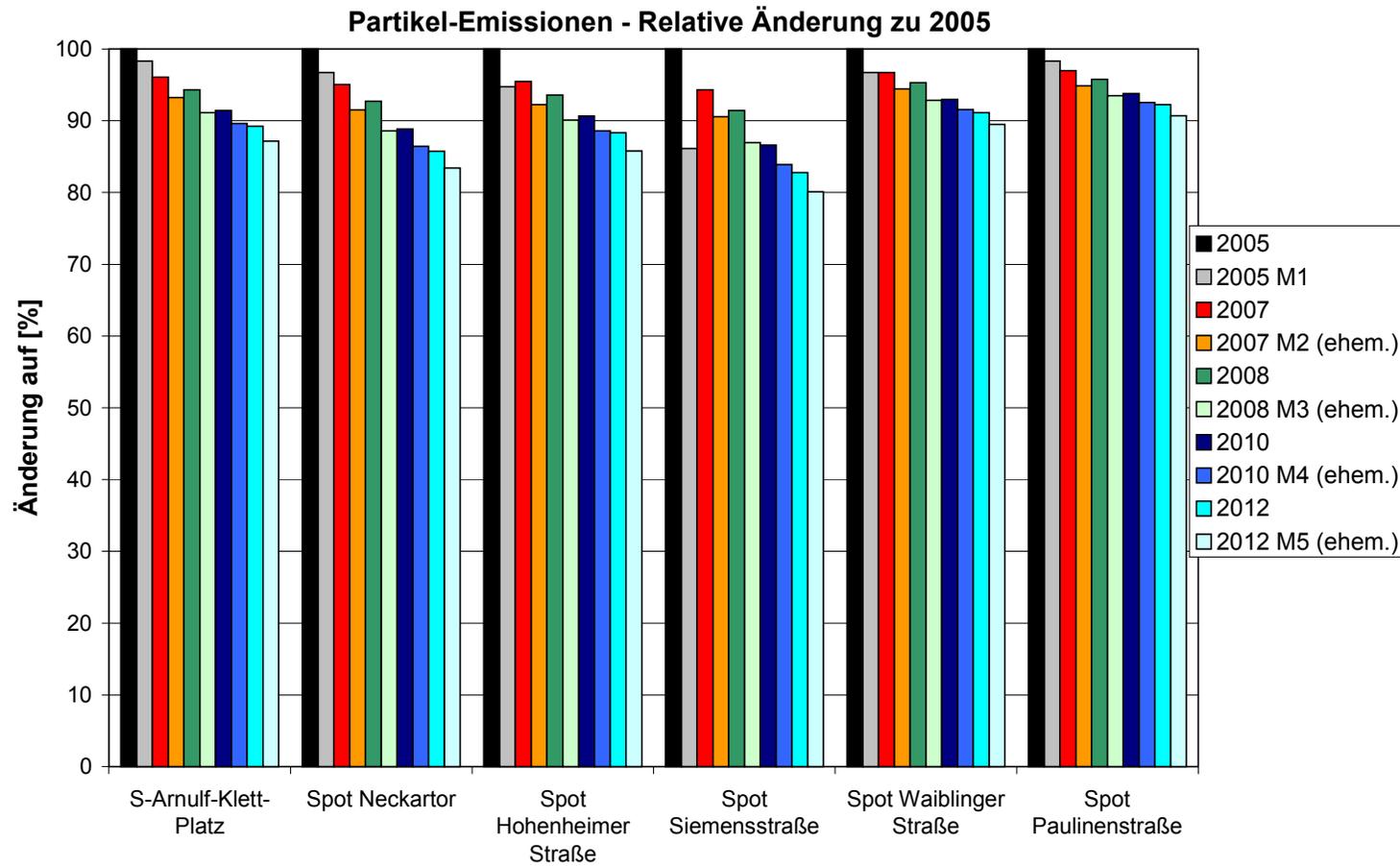


Abb. A2.2: Relativer Anteil der Partikel-Emissionen am Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte für die im LRP/AP Stuttgart aufgeführten Maßnahmen.
 Die Bezeichnung "ehem." steht für ehemalige Maßnahmen, die durch die Kennzeichnungsverordnung ersetzt werden.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

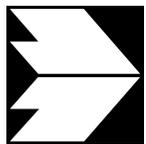
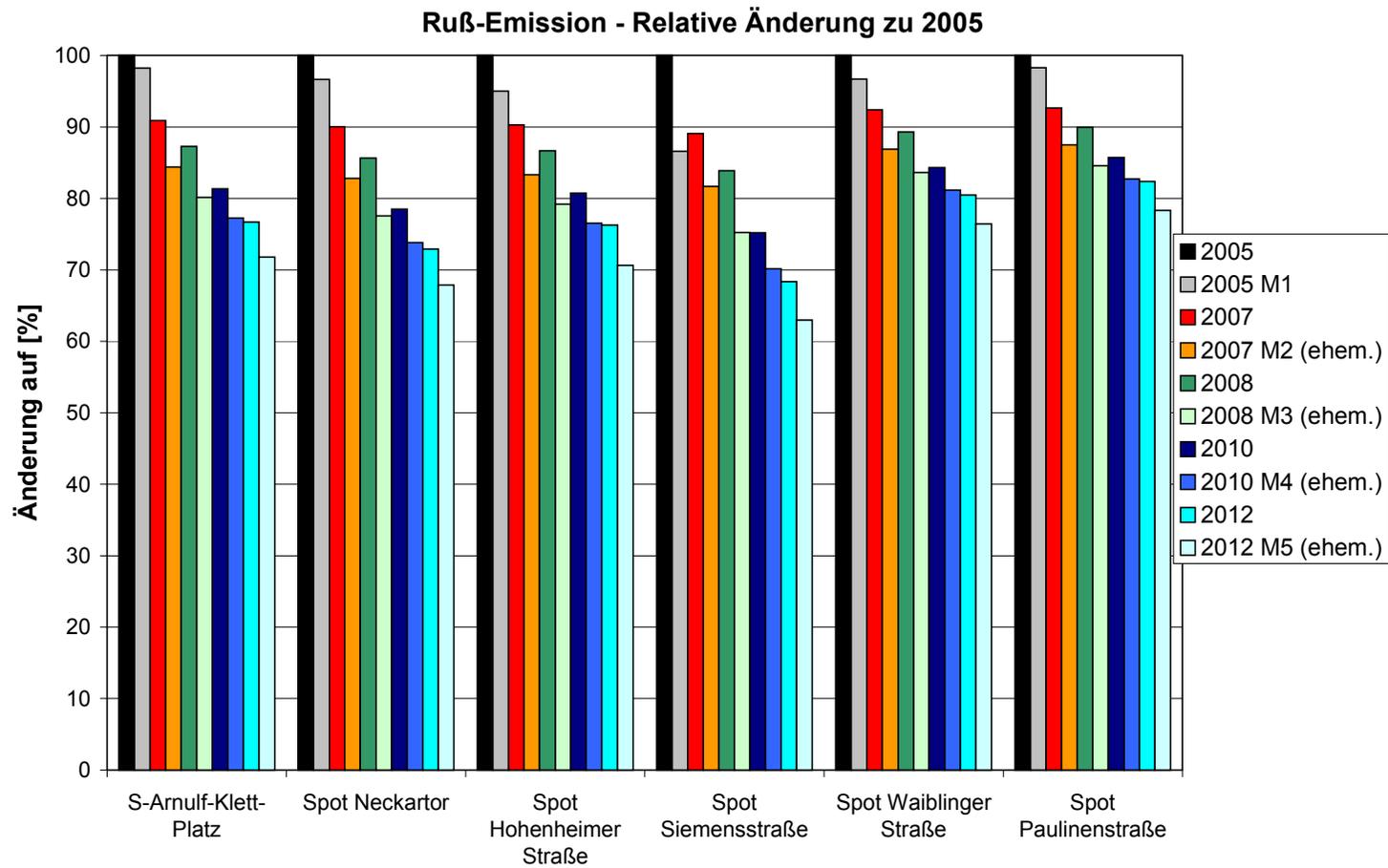


Abb. A2.3: Relativer Anteil der Ruß-Emissionen am Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte für die im LRP/AP Stuttgart aufgeführten Maßnahmen.
 Die Bezeichnung "ehem." steht für ehemalige Maßnahmen, die durch die Kennzeichnungsverordnung ersetzt werden.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

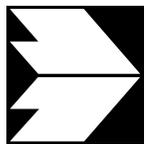
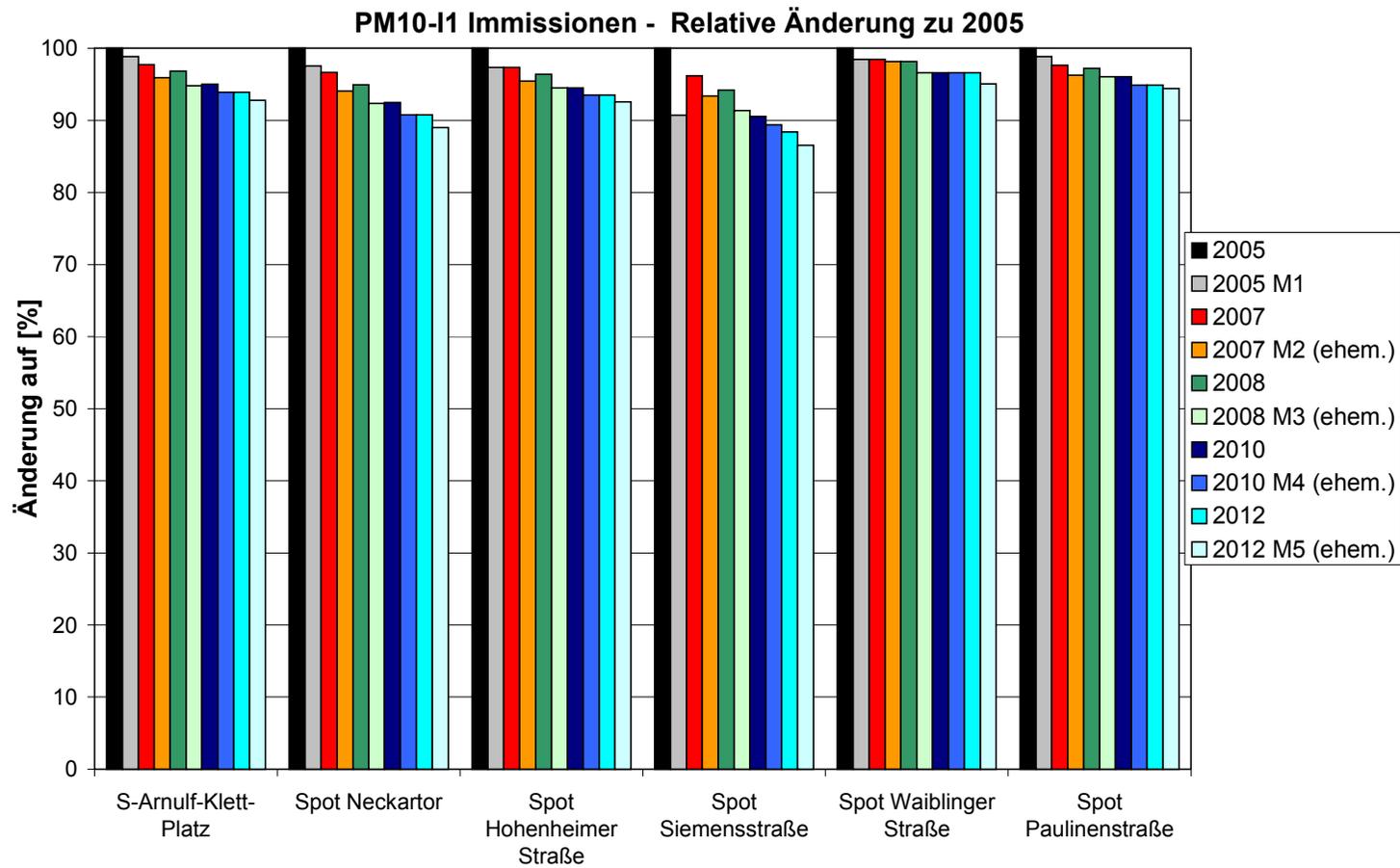


Abb. A2.4: Relative Änderung der PM10-Immissionen zum Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte für die im LRP/AP Stuttgart aufgeführten Maßnahmen.
 Die Bezeichnung "ehem." steht für ehemalige Maßnahmen, die durch die Kennzeichnungsverordnung ersetzt werden.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

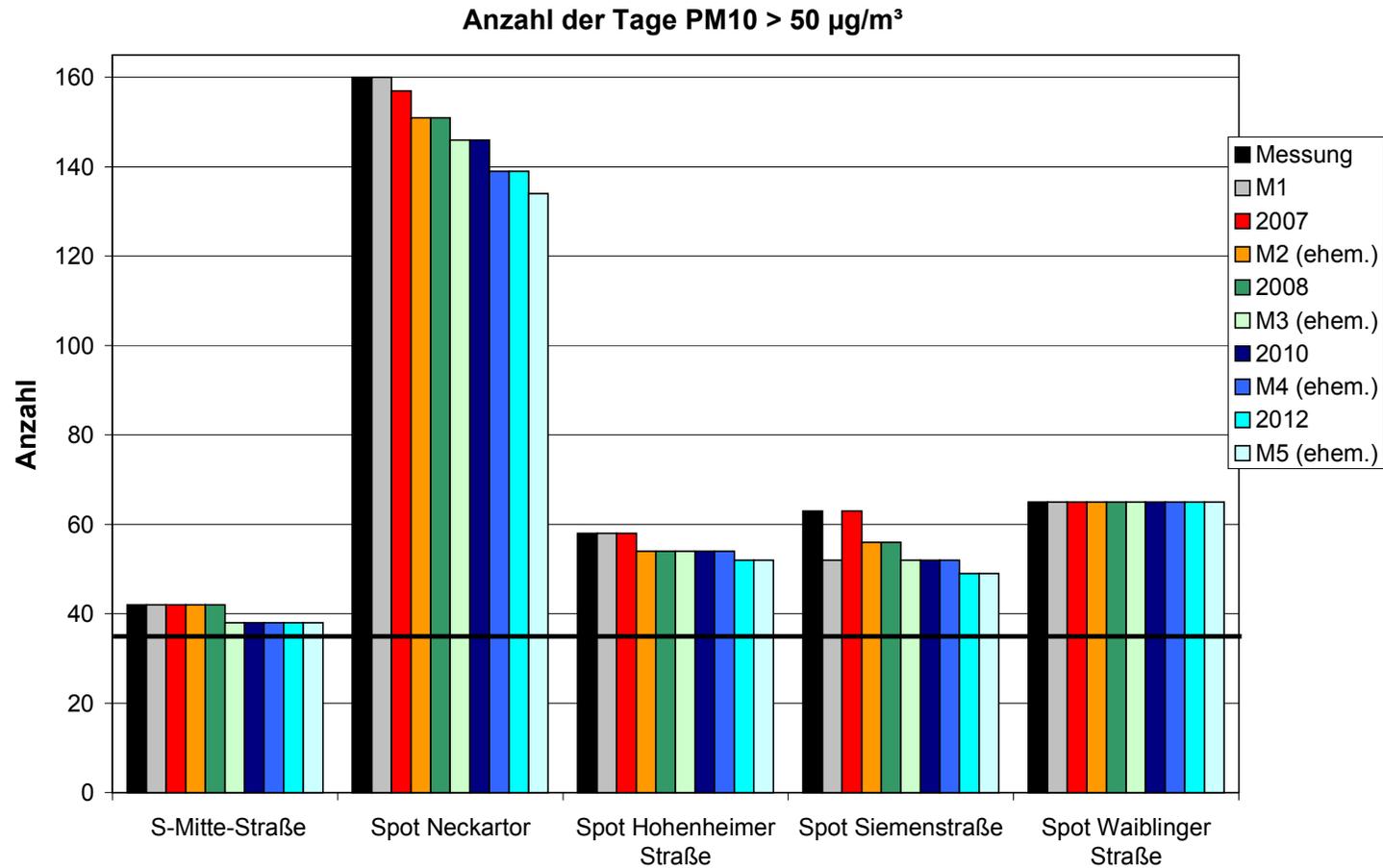


Abb. A2.5: Anzahl der Tage mit PM10-Überschreitungen >50 µg/m³ für die fünf Straßenabschnitte für die im LRP/AP Stuttgart aufgeführten Maßnahmen.
 Die Bezeichnung "ehem." steht für ehemalige Maßnahmen, die durch die Kennzeichnungsverordnung ersetzt werden.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

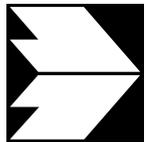
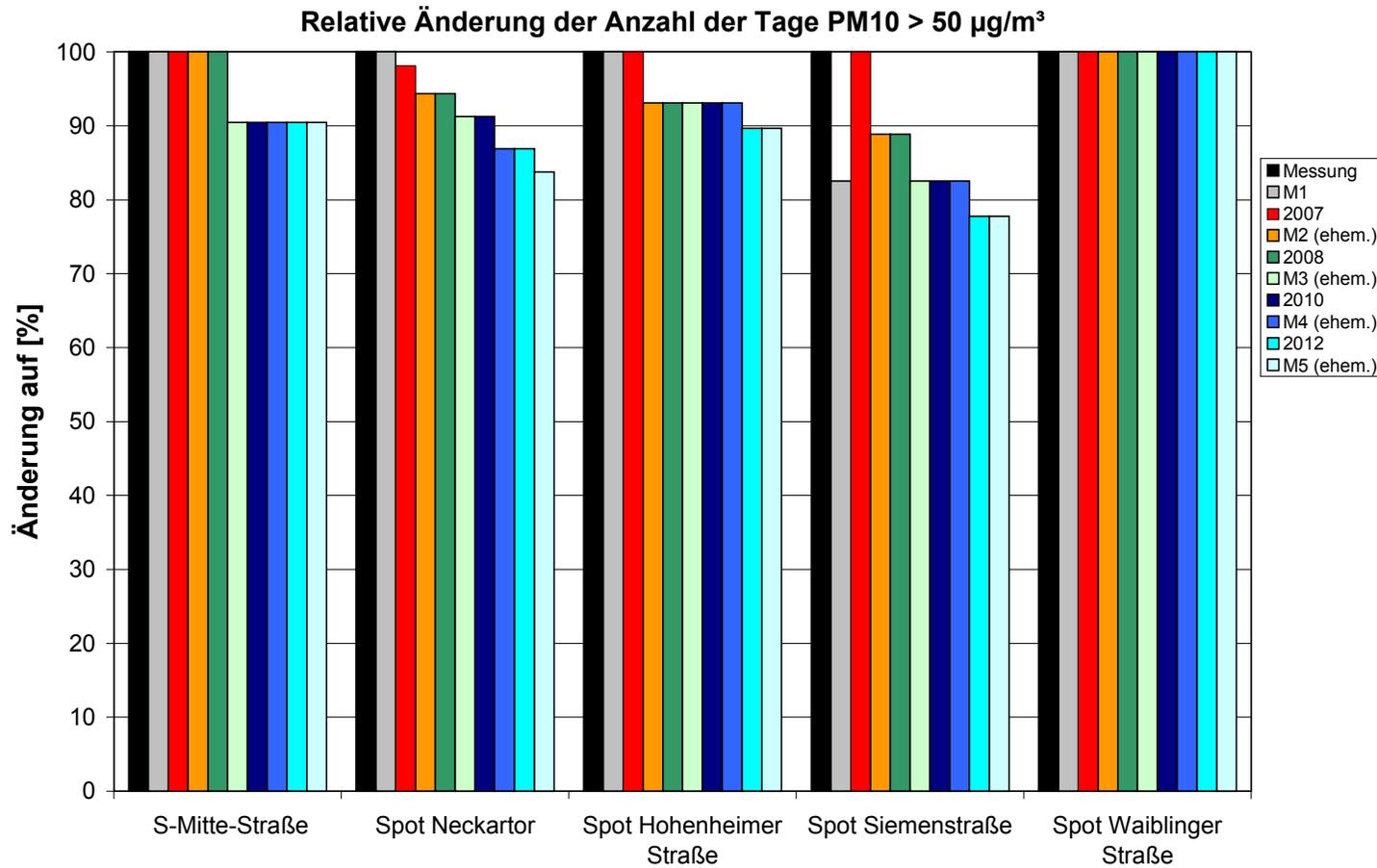


Abb. A2.6: Relative Änderung der Anzahl der Tage mit PM10-Überschreitungen >50 µg/m³ zum Referenzzustand 2005 für die fünf Straßenabschnitte für die im LRP/AP Stuttgart aufgeführten Maßnahmen. Die Bezeichnung "ehem." steht für ehemalige Maßnahmen, die durch die Kennzeichnungsverordnung ersetzt werden.
Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

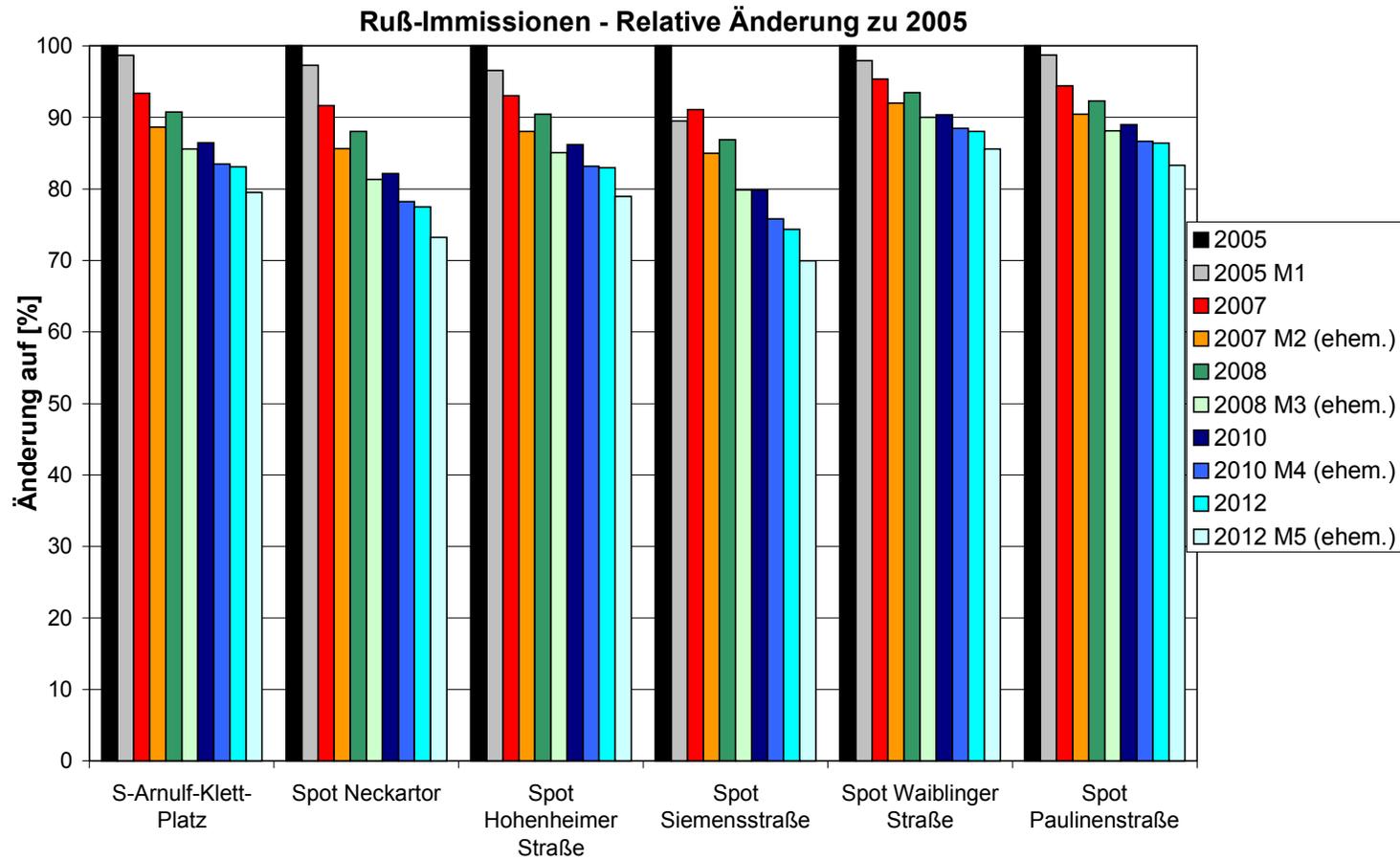


Abb. A2.7: Relative Änderung der Ruß-Immissionen zum Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte für die im LRP/AP Stuttgart aufgeführten Maßnahmen.
 Die Bezeichnung "ehem." steht für ehemalige Maßnahmen, die durch die Kennzeichnungsverordnung ersetzt werden.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

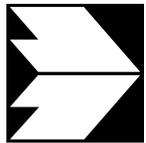
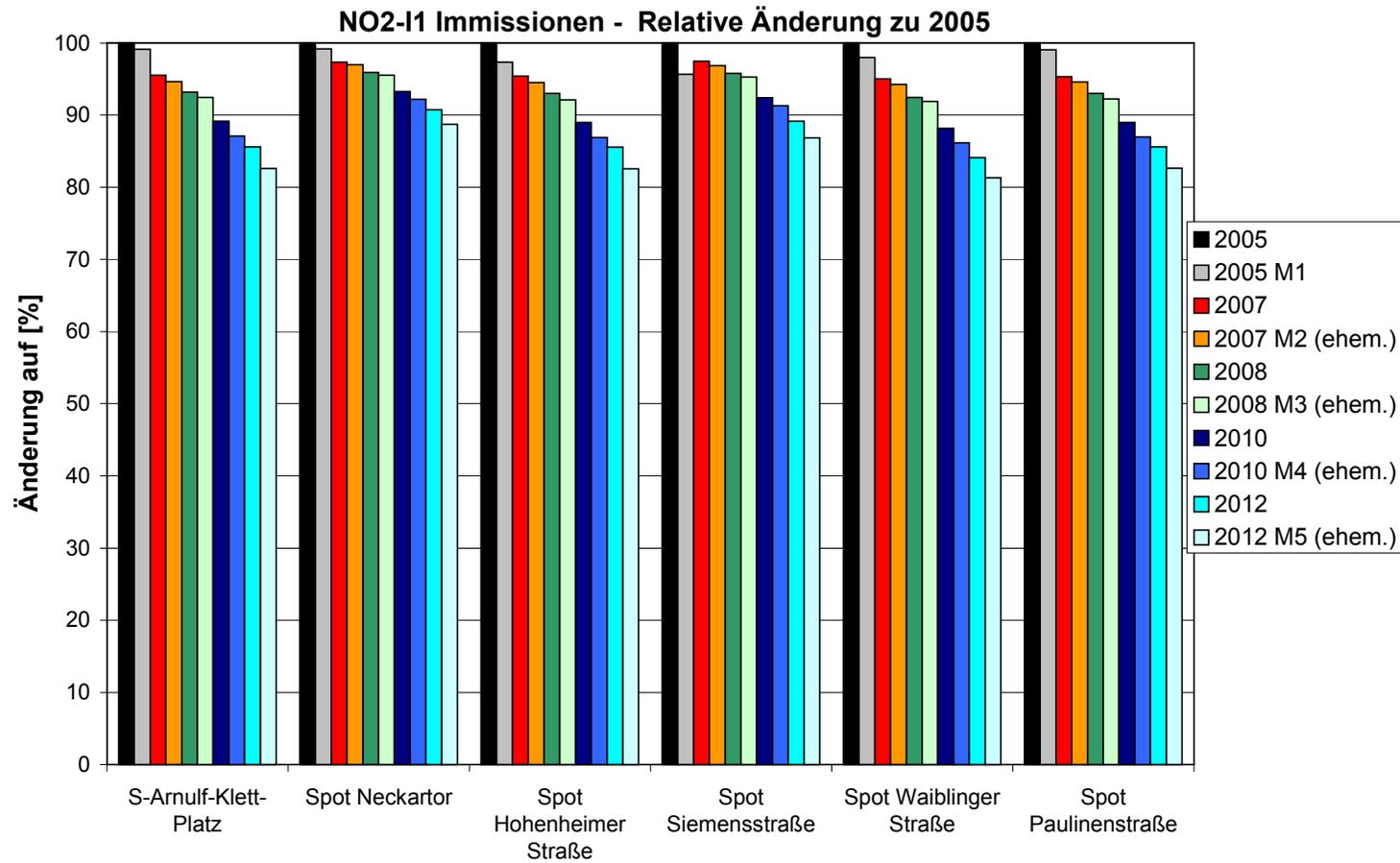


Abb. A2.8: Relative Änderung der NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) zum Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte für die im LRP/AP Stuttgart aufgeführten Maßnahmen. Die Bezeichnung "ehem." steht für ehemalige Maßnahmen, die durch die Kennzeichnungsverordnung ersetzt werden. Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

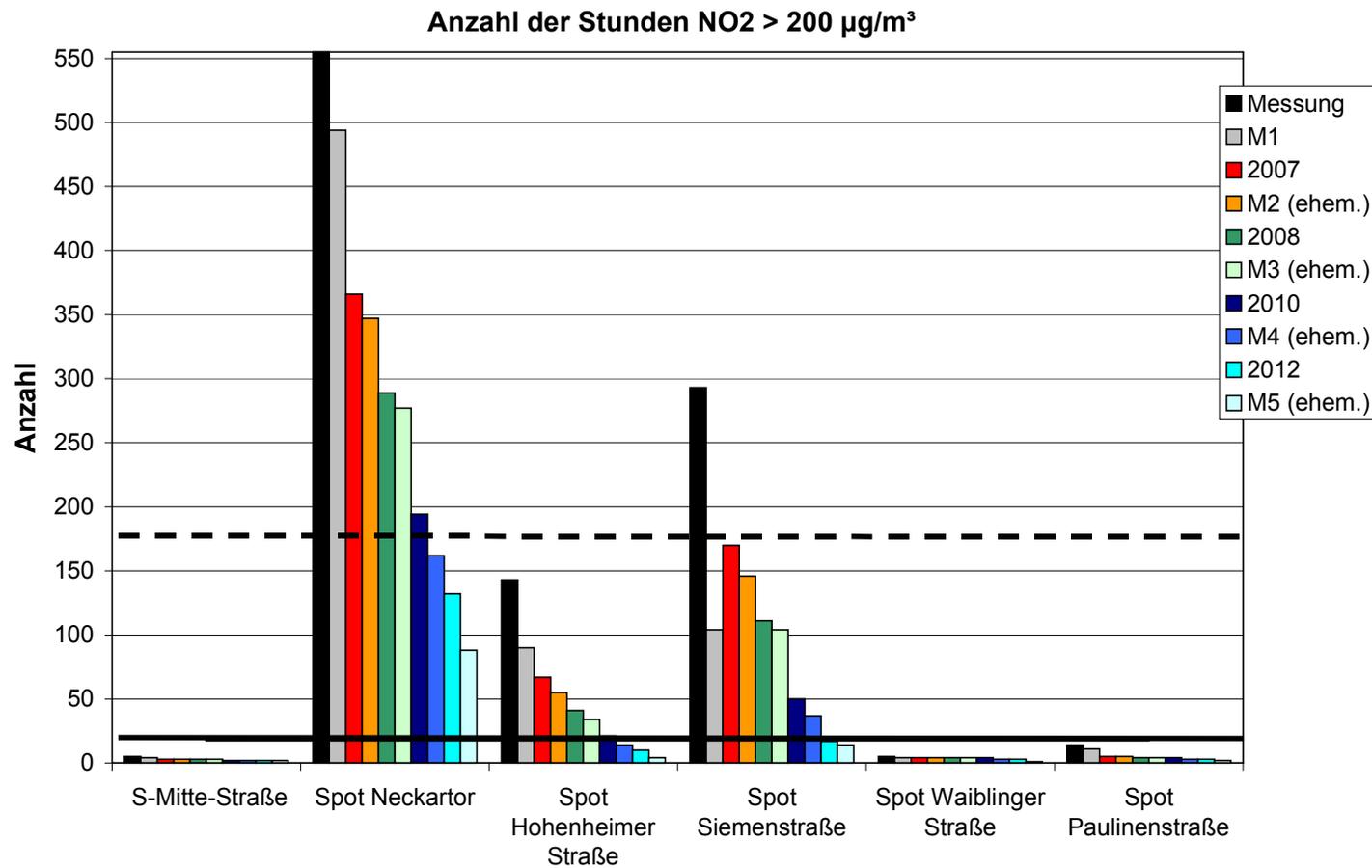


Abb. A2.9: Anzahl der Stunden mit NO₂-Überschreitungen (Stundenwert) > 200 µg/m³ für die sechs Straßenabschnitte für die im LRP/AP Stuttgart aufgeführten Maßnahmen.
 Die Bezeichnung "ehem." steht für ehemalige Maßnahmen, die durch die Kennzeichnungsverordnung ersetzt werden.
 Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

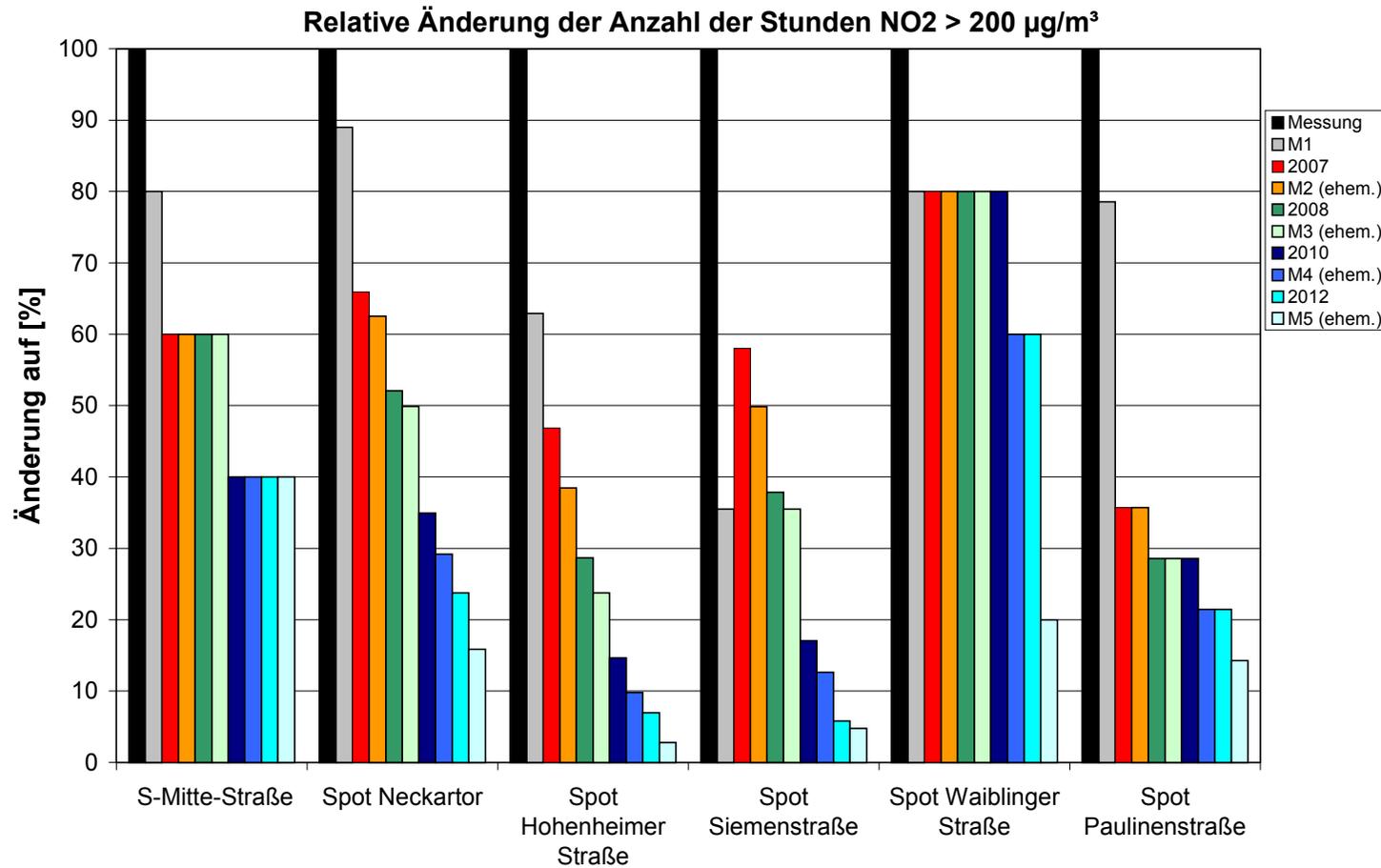


Abb. A2.10: Relative Änderung der NO₂-Stundenüberschreitungen (Stundenwert) > 200 µg/m³ zum Referenzzustand 2005 für die sechs Straßenabschnitte für die im LRP/AP Stuttgart aufgeführten Maßnahmen. Die Bezeichnung "ehem." steht für ehemalige Maßnahmen, die durch die Kennzeichnungsverordnung ersetzt werden.
Helle Farben = mit Maßnahme, dunkle Farben = ohne Maßnahme

AN H A N G A 3:
IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSENNETZ

A3 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSEN- NETZ

In Kap. 4 sind die relativen Änderungen der Immissionen an den betrachteten Straßenabschnitten der bestehenden verkehrsnahen Messstellen aufgeführt. Danach sind die weitestgehenden Auswirkungen gegenüber dem derzeitigen Zustand im Jahr 2012 und mit der Maßnahme M3 zu erwarten. Für die Maßnahme M3 sind in **Abb. A3.1** die berechneten NO₂-Jahresmittelwerte für alle betrachteten Hauptverkehrsstraßen dargestellt. Die Berechnungen erfolgen an den Straßenabschnitten mit bestehender Randbebauung für Bereiche vor der zur Fahrbahn nächstgelegenen Bebauung und für Straßenabschnitte ohne Randbebauung für einen Immissionsort in ca. 10 m Abstand zur Straße. In der Grafik sind Konzentrationswerte über 40 µg/m³, d.h. über dem NO₂-Grenzwert der 22. BImSchV, in gelben und roten Farben dargestellt. An stark frequentierten Straßenabschnitten sind teilweise weiterhin hohe NO₂-Belastungen prognostiziert, die bei entsprechenden Nutzungen zu Überschreitungen des Grenzwertes führen.

In **Abb. A3.2** sind die berechneten PM10-Jahresmittelwerte für die Maßnahme M3 im Jahr 2012 für alle betrachteten Hauptverkehrsstraßen aufgezeigt. In der Grafik sind Konzentrationswerte über 40 µg/m³, d.h. über dem PM10-Grenzwert der 22. BImSchV, in gelben und roten Farben dargestellt. An einigen stark frequentierten Straßenabschnitten sind weiterhin hohe PM10-Belastungen prognostiziert, die bei entsprechenden Nutzungen im Sinne der 22. BImSchV zu Überschreitungen des Grenzwertes führen.

Zur Ableitung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes, d.h. der Überschreitung eines PM10-Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ an mehr als 35 Tagen pro Jahr, werden in der Fachliteratur Schwellenwerte der PM10-Jahresmittelwerte genannt. So wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes für die Bundesanstalt für Straßenwesen aus 914 Messdatensätzen aus den Jahren 1999 bis 2003 eine gute Korrelation zwischen der Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittelwerten größer als 50 µg/m³ und dem PM10-Jahresmittelwert gefunden (**Abb. A3.3**). 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. A3.3** dargestellt. Mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ (Grenzwert) werden mit diesem Ansatz unter Berücksichtigung des Sicherheitszuschlags für PM10-Jahresmittelwerte ab 29 µg/m³ abgeleitet.

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

Aus den berechneten PM10-Jahresmittelwerten an den Hauptverkehrsstraßen in Stuttgart werden für die grafischen Darstellungen des gesamten Hauptverkehrsstraßennetzes 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. Das Überschreiten dieses Schwellenwertes ist in **Abb. A3.2** ab der hellgrünen Farbdarstellung aufgezeigt, d.h. an allen grün, gelb und rot gekennzeichneten Straßenabschnitten kann eine Überschreitung des PM10-Kurzzeitbelastungswertes bei entsprechenden Nutzungen erwartet werden. Damit sind an einigen stark frequentierten Straßenabschnitten weiterhin hohe PM10-Kurzzeitbelastungen berechnet.

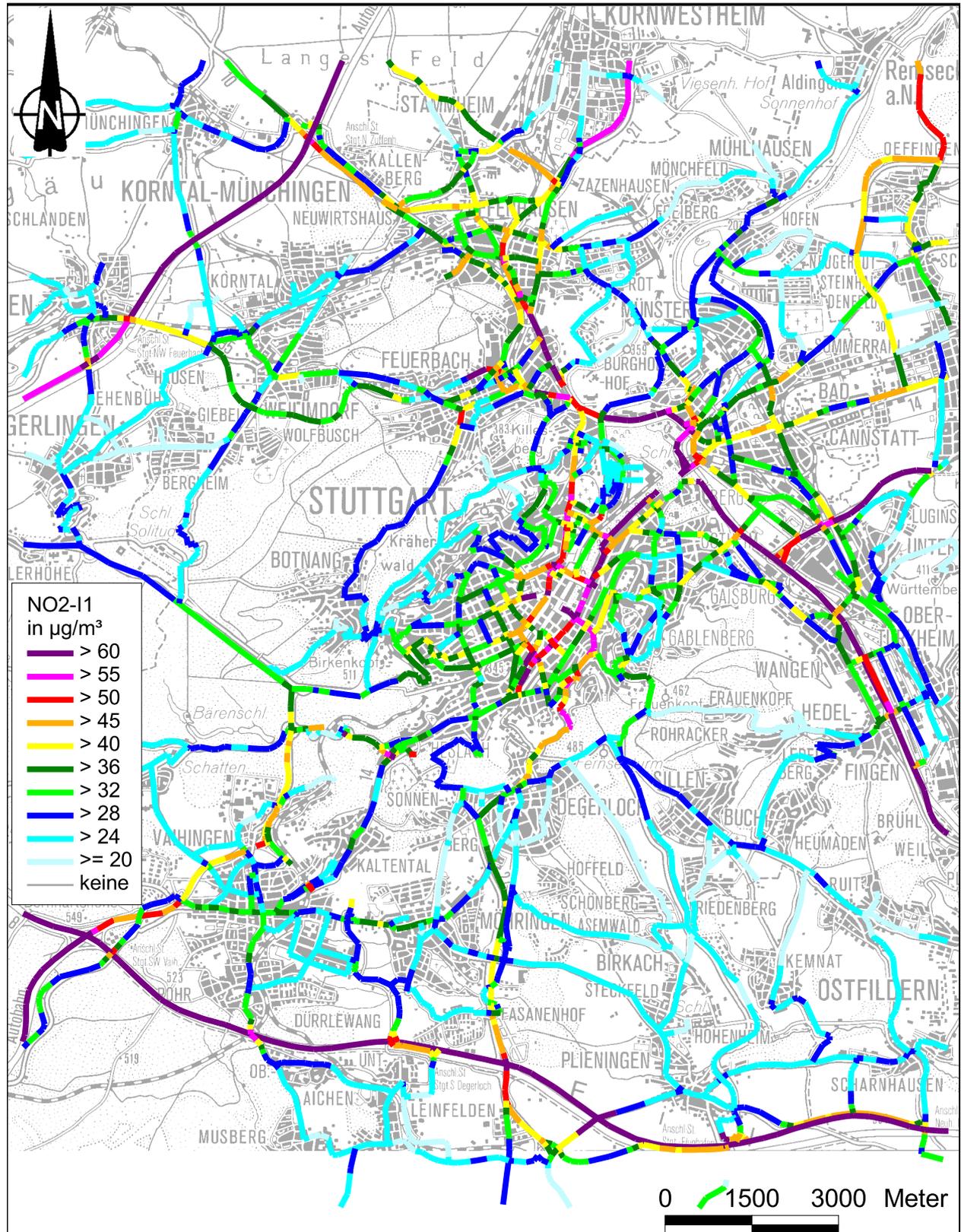


Abb. A3.1: NO₂-Immissionen (Jahresmittelwert) für die Maßnahme M3 im Jahr 2012.

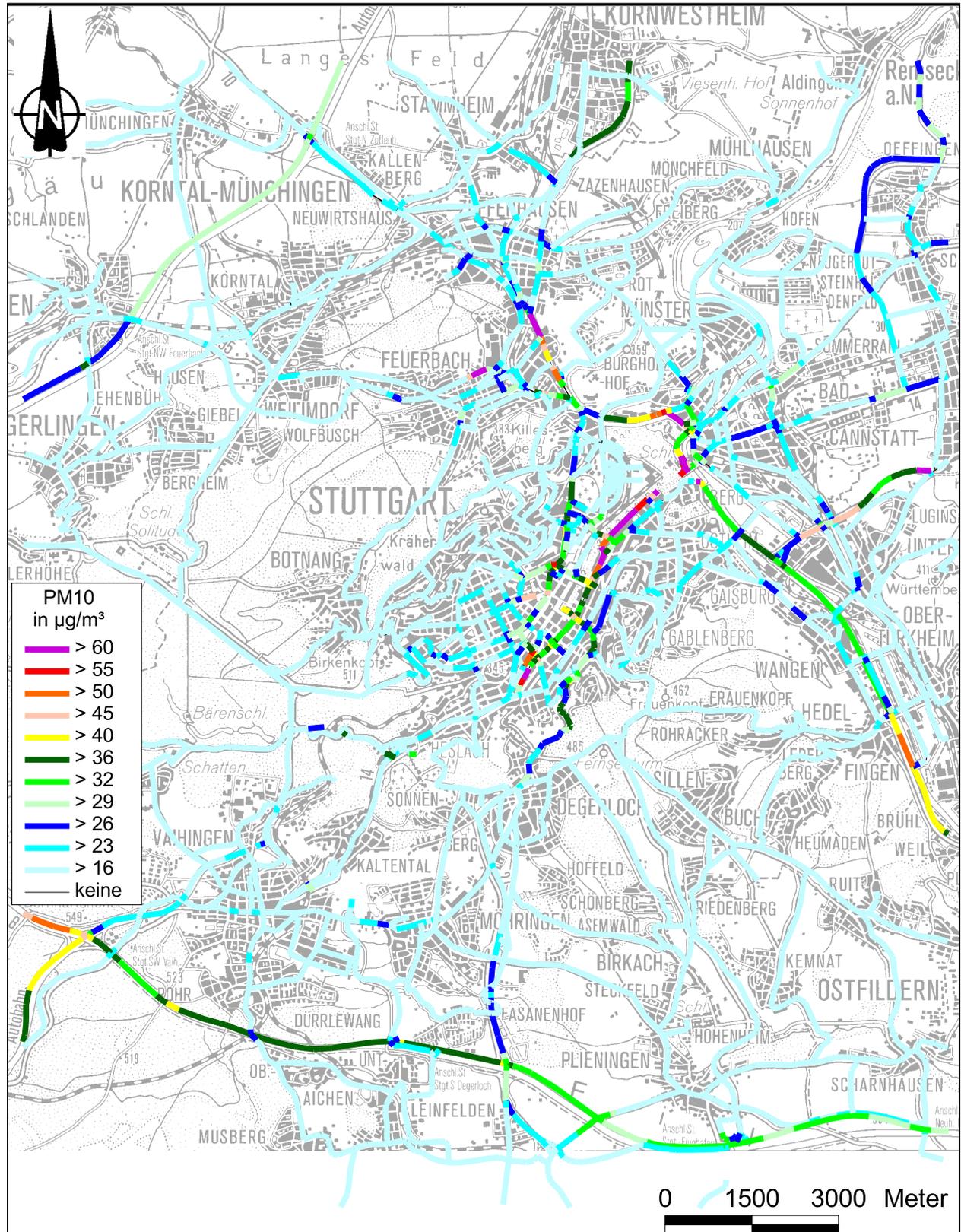


Abb. A3.2: PM10-Immissionen (Jahresmittelwert) für die Maßnahme M3 im Jahr 2012.

