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

AKTUALISIERUNG DES LUFTREINHALTEPLANS HEIDELBERG

IMMISSIONSAUSWIRKUNGEN VON VERKEHRLICHEN MASSNAHMEN

Auftraggeber: Regierungspräsidium Karlsruhe
Markgrafenstraße 46

76133 Karlsruhe

Dipl.-Geogr. T. Nagel

Dr. rer. nat. J. Richters

Dr.-Ing. W. Bächlin

Dezember 2010
Projekt 61703-10-01
Berichtsumfang 46 Seiten

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN 1

1 ZUSAMMENFASSUNG 4

2 AUFGABENSTELLUNG 7

3 EINGANGSDATEN UND EMISSIONSFAKTOREN 8

3.1 Lagedaten 8

3.2 Verkehr 8

3.3 Fahrzeugflotte 12

3.4 Emissionsfaktoren 15

3.4.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren 16

3.4.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren 17

3.4.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen 17

3.5 Meteorologische Daten 19

4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN 21

4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte 21

4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen 24

5 LITERATUR 30

A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS-ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION 34

A2 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSEN-NETZ HEIDELBERG 42

Hinweise:

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

Die Tabellen und Abbildungen sind kapitelweise durchnummeriert.

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

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

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN

Emission / Immission

Als Emission bezeichnet man die von einem Fahrzeug ausgestoßene Luftschadstoffmenge in Gramm Schadstoff pro Kilometer oder bei anderen Emittenten in Gramm 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 m³ Luft (µg/m³ oder mg/m³).

Hintergrundbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung

Als Hintergrundbelastung werden im Folgenden die Immissionen bezeichnet, die bereits ohne die Emissionen des Straßenverkehrs auf den betrachteten Straßen an den Untersuchungspunkten vorliegen. Die Zusatzbelastung ist diejenige Immission, die ausschließlich vom Verkehr auf dem zu untersuchenden Straßennetz oder der zu untersuchenden Straße hervorgerufen wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Hintergrundbelastung und Zusatzbelastung und wird in µg/m³ oder mg/m³ angegeben.

Grenzwerte / Vorsorgewerte

Grenzwerte sind zum Schutz der menschlichen Gesundheit vom Gesetzgeber vorgeschriebene Beurteilungswerte für Luftschadstoffkonzentrationen, die nicht überschritten werden dürfen, siehe z.B. Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Vorsorgewerte stellen zusätzliche Beurteilungsmaßstäbe dar, die zahlenmäßig niedriger als Grenzwerte sind und somit im Konzentrationsbereich unterhalb der Grenzwerte eine differenzierte Beurteilung der Luftqualität ermöglichen.

Jahresmittelwert / 98-Perzentilwert / Kurzzeitwert (Äquivalentwert)

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

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

Die Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) fordert die Einhaltung weiterer Kurzzeitwerte in Form des Stundenmittelwertes der NO_2-Konzentrationen von 200 µg/m³, der nicht mehr als 18 Stunden pro Jahr überschritten werden darf, und des Tagesmittelwertes der PM10-Konzentration von 50 µg/m³, der maximal an 35 Tagen überschritten werden darf. Da diese Werte derzeit nicht direkt berechnet werden können, erfolgt die Beurteilung hilfsweise anhand von abgeleiteten Äquivalentwerten auf Basis der 98-Perzentil- bzw. Jahresmittelwerte. Diese Äquivalentwerte sind aus Messungen abgeleitete Kennwerte, bei deren Unterschreitung auch eine Unterschreitung der Kurzzeitwerte erwartet wird.

Verkehrssituation

Emissionen und Kraftstoffverbrauch der Kraftfahrzeuge (Kfz) hängen in hohem Maße vom Fahrverhalten ab, das durch unterschiedliche Betriebszustände wie Leerlauf im Stand, Beschleunigung, Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit, Bremsverzögerung etc. charakterisiert ist. Das typische Fahrverhalten kann zu so genannten Verkehrssituationen zusammengefasst werden. Verkehrssituationen sind durch die Merkmale eines Straßenabschnitts wie Geschwindigkeitsbeschränkung, Ausbaugrad, Vorfahrtregelung etc. charakterisiert. In der vom Umweltbundesamt herausgegebenen Datenbank „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ sind für verschiedene Verkehrssituationen Angaben über Schadstoffemissionen angegeben.

Feinstaub / PM10 / PM2.5

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

Emissionsgrenzwerte für Partikel und NO_x mit Geltungsjahr

		Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
PKW	**Jahr**	**1993**	**1996/97**	**2000**	**2005**	**2009**	**2014**
	Partikel [g/km]	0.14	0.08	0.05	0.025	0.005	0.005
	Jahr	**1992**	**1996**	**2000**	**2005**	**2009**	**2014**
	NO_x Diesel [g/km]	-	-	0.50	0.25	0.18	0.08
	NO_x Benzin [g/km]	-	-	0.15	0.08	0.06	0.06
LKW	**Jahr**	**1992/93**	**1995/96**	**2000/01**	**2005**	**2008**	**2012**
	Partikel [g/kWh]	0.4	0.15	0.10	0.02	0.02	0.01
	Jahr	**1992**	**1998**	**2000**	**2005**	**2008**	**2012**
	NO_x [g/kWh]	9.0	7.0	5.0	3.5	2.0	0.4

1 ZUSAMMENFASSUNG

Für die Stadt Heidelberg wurde ein Luftreinhalte- und Aktionsplan erstellt und eine Umweltzone der Stufe 1 seit dem 01.01.2010 ausgewiesen. Für die Aktualisierung des Luftreinhalte- / Aktionsplans für den Regierungsbezirk Karlsruhe, Teilplan Heidelberg, sollen die Auswirkungen einer Verschärfung der Maßnahmen der Umweltzone im Rahmen der vorliegenden Untersuchung untersucht und bewertet werden.

Folgende Maßnahmen werden betrachtet:

2012 St2 ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Heidelberg für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung ab 01.01.2012, d.h. Kraftfahrzeuge mit gelber und grüner Plakette frei.

2013 St2 ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Heidelberg für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung ab 01.01.2013, d.h. Kraftfahrzeuge mit gelber und grüner Plakette frei.

2013 St3 ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Heidelberg für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1, 2 und 3 nach der Kennzeichnungsverordnung ab 01.01.2013, d.h. Kraftfahrzeuge mit grüner Plakette frei.

Als Referenzzustand wird in Heidelberg die derzeitige Regelung mit Umweltzone der Stufe 1 im Jahr 2012 angesetzt (**2012 St1**). Damit gilt ein ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Heidelberg für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung seit dem 01.01.2010, d.h. Kraftfahrzeuge mit Plakette frei.

Für die Standorte der verkehrsbezogenen Luftmessstationen in Heidelberg werden jeweils die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen berechnet. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Heidelberger Straßennetzes werden unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, Stand 2010, auf der Grundlage der für Baden-Württemberg ermittelten Fahrzeugflotte und mit den aktuellen Erkenntnissen bezüglich nicht motorbedingter PM10-Beiträge die Änderungen der Emissionen und darauf basierend der Immissionen gegenüber dem Referenzfall aufgezeigt. Betrachtet werden die Schadstoffe NO_2 und PM10.

Für die Prognose der Auswirkungen der Maßnahmen werden im ersten Schritt die Änderungen der Emissionen, d.h. der Schadstofffreisetzungen in den Straßenabschnitten, und im zweiten Schritt die Änderungen der Immissionen berechnet.

Für NO_x-Freisetzungen sind auf den Straßenabschnitten an den Luftmessstationen in Heidelberg gegenüber dem Referenzzustand 2012 St1 mit der Maßnahme 2012 St2 ca. 97% bis 98%, im Jahr 2013 mit Umweltzone Stufe 2 (Maßnahme 2013 St2) etwa 90% bis 91% und im Jahr 2013 mit Umweltzone Stufe 3 (Maßnahme 2013 St3) ca. 82% bis 84% der NO_x-Emissionen zu erwarten. Die genannten Maßnahmen tragen zur Minderung der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen bei. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen wird durch die Umweltzone mit der Stufe 3 bewirkt.

Die PM10-Emissionen weisen auf dem Straßenabschnitt an der Luftmessstation gegenüber dem Referenzzustand 2012 St1 mit der Maßnahme 2012 St2 ca. 97%, im Jahr 2013 mit Umweltzone Stufe 2 (Maßnahme 2013 St2) ca. 95% und im Jahr 2013 mit der Maßnahme 2013 St3 ca. 90% der PM10-Emissionen auf. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung tragen zur Minderung der verkehrsbedingten PM10-Emissionen bei.

Bei den PM10-Emissionen ist zu beachten, dass der nicht motorbedingte Anteil durch die betrachteten Maßnahmen nicht verringert wird, da die Verkehrsbelastung unverändert berücksichtigt wurde.

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

Die Immissionsberechnungen an den Messstationen in Heidelberg wurden basierend auf den beschriebenen Verkehrsbelegungsdaten, den Emissionsfaktoren und der typisierten Randbebauung durchgeführt.

Die berechneten NO_2-Jahresmittelwerte weisen an den Luftmessstationen gegenüber dem Referenzzustand im Jahr 2012 St1 mit der Maßnahme 2012 St2 im Jahr 2012 nahezu unveränderte Werte auf, mit der Maßnahme 2013 St2 im Jahr 2013 Verringerungen auf ca. 97% und mit der Maßnahme 2013 St3 im Jahr 2013 Verringerungen auf ca. 93% bis 94% der Gesamtbelastung auf. Die Verschärfung der Maßnahmen in der Umweltzone verringert die NO_2-Immissionen im Jahresmittel an den verkehrsbezogenen Standorten und trägt zur Verringerung der teilweise deutlichen Überschreitung des Grenzwertes bei.

Die PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) weisen an der Luftmessstation gegenüber dem Referenzzustand im Jahr 2012 St1 durch die Maßnahme 2012 St2 im Jahr 2012 nahezu unveränderte Werte, im Jahr 2013 mit der Maßnahme 2013 St2 Verringerungen auf ca. 98% und durch die Maßnahme 2013 St3 im Jahr 2013 Verringerungen auf ca. 96% bis 97% der Gesamtbelastung auf. Die PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) verringern sich an der Mittermaierstraße ausgehend vom Referenzzustand mit 32 µg/m³ auf 30 µg/m³ durch die weitestgehende Maßnahme. An den anderen Standorten sind jahresmittlere PM10-Immissionen unter 30 µg/m³ im Referenzzustand berechnet, die sich durch die Maßnahmen verringern. Aus den PM10-Jahresmittelwerten werden Rückschlüsse auf die Anzahl an Überschreitungstagen mit Tagesmittelwerten über 50 µg/m³ gezogen, indem die Überschreitung des Schwellenwertes von 29 µg/m³ im Jahresmittel eine Überschreitung der Kurzzeitbelastung erwarten lässt. Danach sind nur an der SPOT-Messstelle Mittermaierstraße Überschreitungen der PM10-Kurzzeitbelastung nicht auszuschließen.

Ergänzend wurden die PM2.5-Immissionen (Jahresmittelwerte) betrachtet; schon im Referenzzustand wird der ab 2015 geltende PM2.5-Grenzwert an den betrachteten verkehrsbezogenen Messstandorten unterschritten.

Insgesamt ist aus den Ergebnissen der Berechnungen zu schließen, dass durch die jeweiligen Umweltzonen und den damit vorgezogenen Erneuerungen der Kfz-Fahrzeugflotte Verringerungen der motorbedingten Schadstofffreisetzungen verbunden sind, die auch zu Verringerungen der NO_2- und PM10-Immissionen führen. Die teilweise deutlichen Überschreitungen des NO_2-Jahresmittelgrenzwertes an den verkehrsbezogenen Messstationen in Heidelberg werden durch die Maßnahmen entsprechend der Berechnungsergebnisse verringert.

2 AUFGABENSTELLUNG

Für die Aktualisierung des Luftreinhalte- / Aktionsplans für den Regierungsbezirk Karlsruhe, Teilplan Heidelberg, sollen die Auswirkungen einer Verschärfung der Maßnahmen der Umweltzone untersucht und bewertet werden. Es sind die immissionsseitigen Auswirkungen der Maßnahmen zu prognostizieren. Betrachtet werden die Schadstoffe NO_2 und PM10.

Folgende Maßnahmen werden betrachtet:

2012 St2 ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Heidelberg für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung ab 01.01.2012, d.h. Kraftfahrzeuge mit gelber und grüner Plakette frei.

2013 St2 ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Heidelberg für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung ab 01.01.2013, d.h. Kraftfahrzeuge mit gelber und grüner Plakette frei.

2013 St3 ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Heidelberg für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1, 2 und 3 nach der Kennzeichnungsverordnung ab 01.01.2013, d.h. Kraftfahrzeuge mit grüner Plakette frei.

Als Referenzzustand wird in Heidelberg die derzeitige Regelung mit Umweltzone der Stufe 1 im Jahr 2012 angesetzt (**2012 St1**). Damit gilt ein ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Heidelberg für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung seit dem 01.01.2010, d.h. Kraftfahrzeuge mit Plakette frei.

Für die Standorte der verkehrsbezogenen Messstationen in Heidelberg werden die Auswirkungen der oben genannten Maßnahmen auf die Immissionen berechnet. Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Straßennetzes werden unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank des UBA (Auspuffemissionen), d.h. HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, Stand 2010, auf der Grundlage der für Baden-Württemberg ermittelten dynamischen Fahrzeugflotte und mit den aktuellen Erkenntnissen bezüglich nicht motorbedingter PM10-Beiträge die Änderungen der Emissionen und darauf basierend der Immissionen gegenüber dem Referenzfall aufgezeigt.

3 EINGANGSDATEN UND EMISSIONSFAKTOREN

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

3.1 Lagedaten

Das Stadtgebiet von Heidelberg liegt im Norden von Baden-Württemberg in dem Bereich, in dem das Neckartal von Osten den südlichen Odenwald durchschneidend und in den Oberrheingraben stößt. Die Messstationen zur Erfassung der Luftschadstoffbelastungen liegen alle im Bereich des Oberrheingrabens. Im Stadtgebiet Heidelberg werden eine Dauermessstation zur Erfassung der städtischen Konzentrationen und eine verkehrsnahe Messstation betrieben; in den letzten Jahren wurden weitere zeitlich befristete Messungen durchgeführt. Die Lage des Betrachtungsgebietes mit dem Straßennetz ist in **Abb. 3.1** aufgezeigt. Dort ist die Lage der Messstationen in Heidelberg gekennzeichnet.

3.2 Verkehr

Für die Betrachtungen der verkehrsbedingten Maßnahmen zum Luftreinhalteplan Heidelberg (2006) wurden durch die Stadtverwaltung Heidelberg Verkehrsdaten zur Verfügung gestellt und werden auch für die Fortschreibung angesetzt. Die Verkehrsdaten liegen als berechnete Verkehrsmengen, ausgedrückt als durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV), für alle Straßen vor. Von dieser Datenbasis wurde ein Auszug mit den Straßenabschnitten, die eine Verkehrsbelegung über 5 000 Kfz/Tag aufweisen, erzeugt und übergeben. Das betrifft das bestehende Straßennetz.

Angaben für den LKW-Verkehr liegen nicht detailliert vor; der mittlere LKW-Anteil der Hauptverkehrsstraßen von Heidelberg wurde mit ca. 5% angegeben.

Für die rechnerische Betrachtung der Maßnahmen werden die für das Jahr 2010 ermittelten Verkehrsbelegungsdaten der Stadtverwaltung Heidelberg herangezogen. Diese Verkehrsdaten sind als Übersichtsdarstellung in **Abb. 3.2** aufgezeigt.

Für die betrachteten Maßnahmen wird die Verkehrsbelegung des Netzes für das Jahr 2010 vorausgesetzt. D.h. für die zu betrachtenden Maßnahmen werden jeweils dieselben Verkehrsbelegungsdaten verwendet. Dabei wird in dieser Untersuchung davon ausgegangen, dass die Anzahl der Fahrten nicht verändert wird, sondern nur die Fahrzeugflotte variiert.

Für die Standorte der verkehrsbezogenen Luftmessstationen der LUBW in Heidelberg sind die zugrunde gelegten mittleren täglichen Verkehrsbelegungen in **Abb. 3.3** aufgetragen.

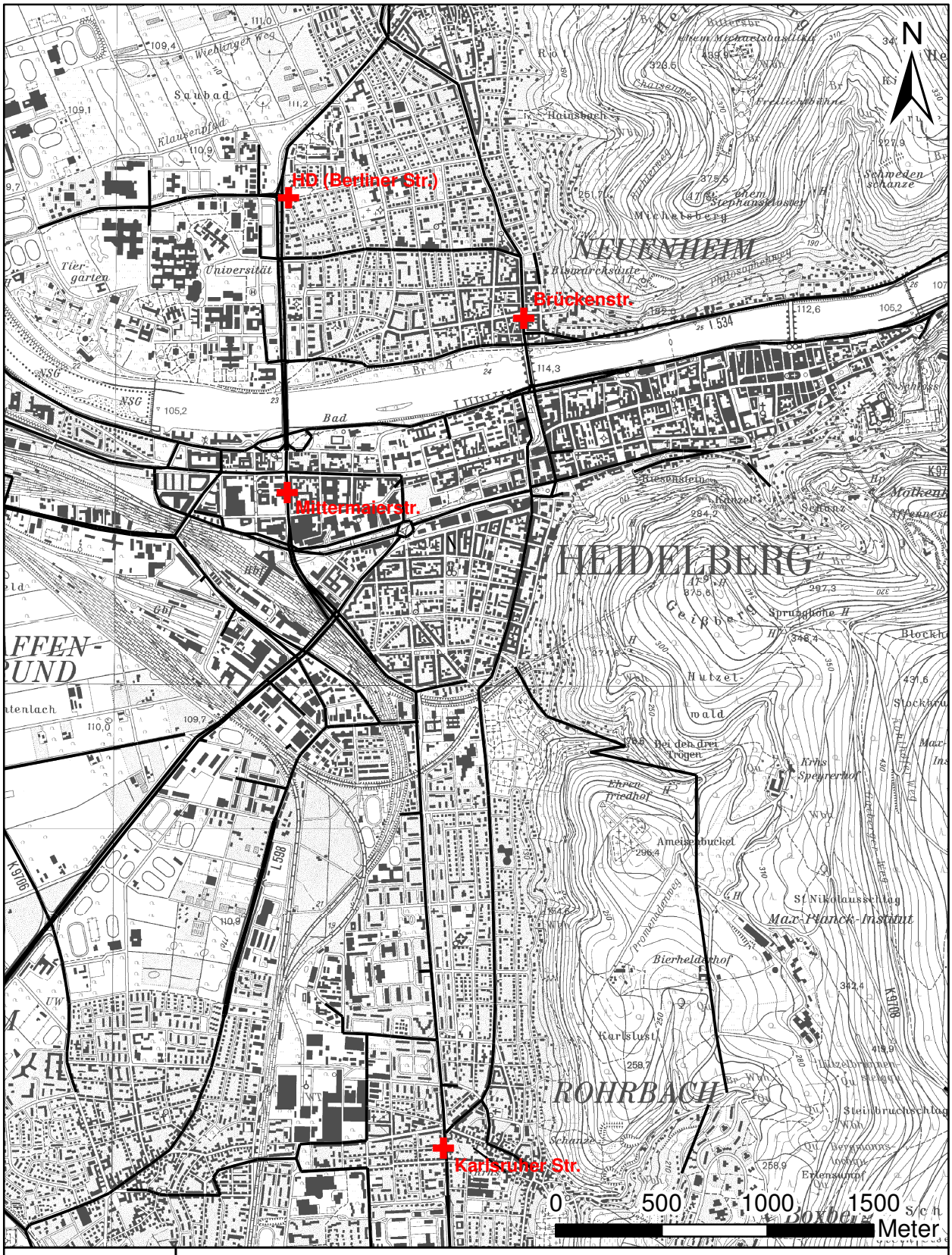


Abb. 3.1: Lageplan des Untersuchungsgebiets. Bestehende Straßen sind schwarz eingezeichnet. Messstationen sind rot eingezeichnet.

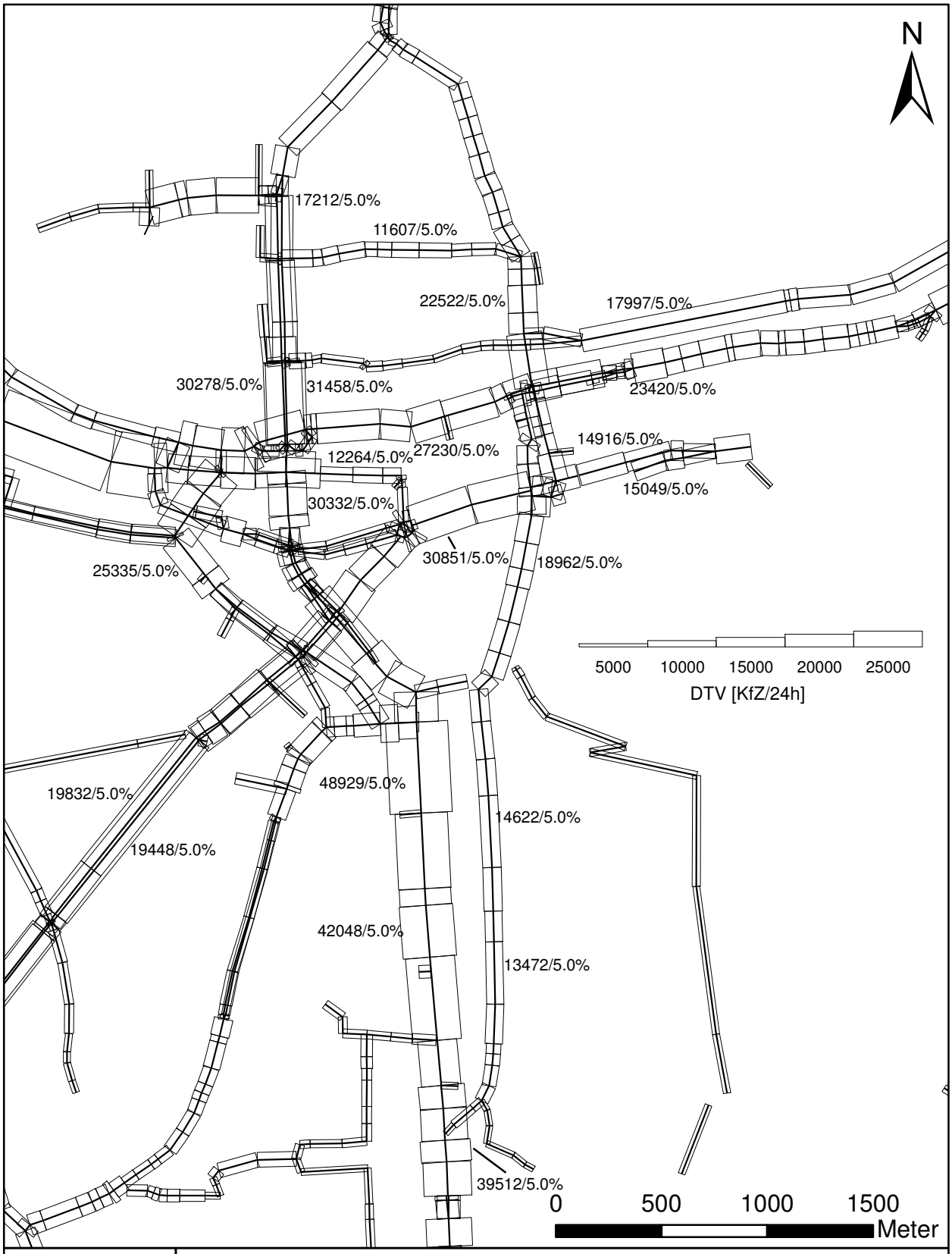


Abb. 3.2: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in Kfz/24h und LKW-Anteil in % im Untersuchungsgebiet für das bestehende Straßennetz (Maßnahmen und Fälle 2012 St1, 2012 St2, 2013 St1, 2013 St2, 2013 St3)

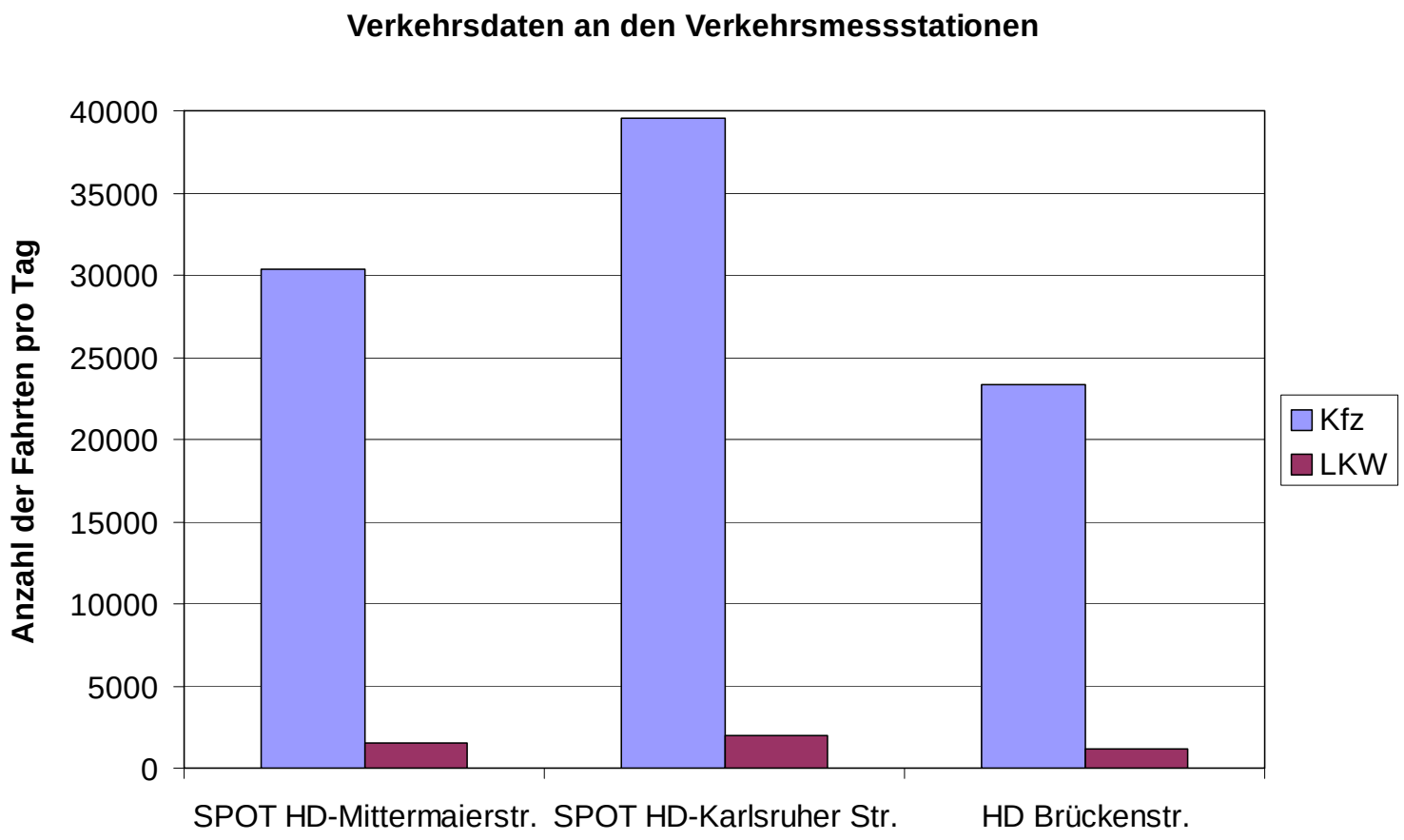


Abb. 3.3: Verkehrsbelegungsdaten für das Jahr 2010 ermittelt. Quelle: Stadtverwaltung Heidelberg

Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG

3.3 Fahrzeugflotte

Die Zusammensetzungen der dynamischen Fahrzeugflotten, d.h. die Zusammensetzung der auf den Straßen verkehrenden Fahrzeuge, sind für innerstädtische Bereiche der dynamischen Flottenzusammensetzung für Baden-Württemberg (AVISO, 2009) für die zu betrachtenden Bezugsjahre 2012 und 2013 entnommen und in **Abb. 3.4** aufgezeigt. Dabei ist zu beachten, dass die dynamische Fahrzeugflotte nicht direkt vergleichbar ist mit den Bestandszahlen für eine Region, die die statische Flottenzusammensetzung basierend auf den Zulassungszahlen angibt.

Der Anteil der dieselbetriebenen PKW-Fahrten umfasst im Jahr 2012 ca. 39% und im Jahr 2013 ca. 41%; der Anteil der dieselbetriebenen leichten Nutzfahrzeugfahrten umfasst im Jahr 2012 und 2013 ca. 96%; bei den Bussen und schweren Nutzfahrzeugen setzen sich die Fahrten ausschließlich aus dieselbetriebenen Fahrzeugen zusammen.

Für die Maßnahmen 2012 St2, 2013 St2 und 2013 St3 werden die in der Datengrundlage beschriebenen Zusammensetzungen der Fahrzeugflotten verändert, indem die vom Fahrverbot betroffenen Fahrzeugarten aus der Fahrzeugflotte ausgeschlossen werden unter der Berücksichtigung, dass ein Anteil von 20% dieser Fahrten aufgrund von Ausnahmegenehmigungen dennoch erfolgt. In **Abb. 3.5** sind die prozentualen Anteile der innerörtlichen Fahrten aufgezeigt, die von dem Fahrverbot betroffen sind.

Gegenüber Regelungen ohne Umweltzone sind von den PKW-Fahrten im Jahr 2012 durch die Maßnahme 2012 St2 ca. 4% der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 8% der Lieferwagenfahrten und ca. 11% der LKW-Fahrten betroffen. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme wird berücksichtigt, dass im Wirtschaftsverkehr nur notwendige Fahrten durchgeführt werden und deshalb eine vollständige Verlagerung der Fahrten ohne Ausnahmegenehmigungen auf Fahrzeuge erfolgt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden. Bei den PKW-Fahrten ist nur ein kleiner Anteil der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Hier kann angenommen werden, dass diese Fahrten zum Teil durch Fahrten mit Fahrzeugen ersetzt werden, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind oder ganz entfallen. Aufgrund des geringen Anteils der möglicherweise entfallenden Fahrten wurde keine erneute Verkehrsumlegung durchgeführt. Für den PKW-Verkehr wird ebenfalls rechnerisch eine Änderung der Fahrzeugflotte durchgeführt.

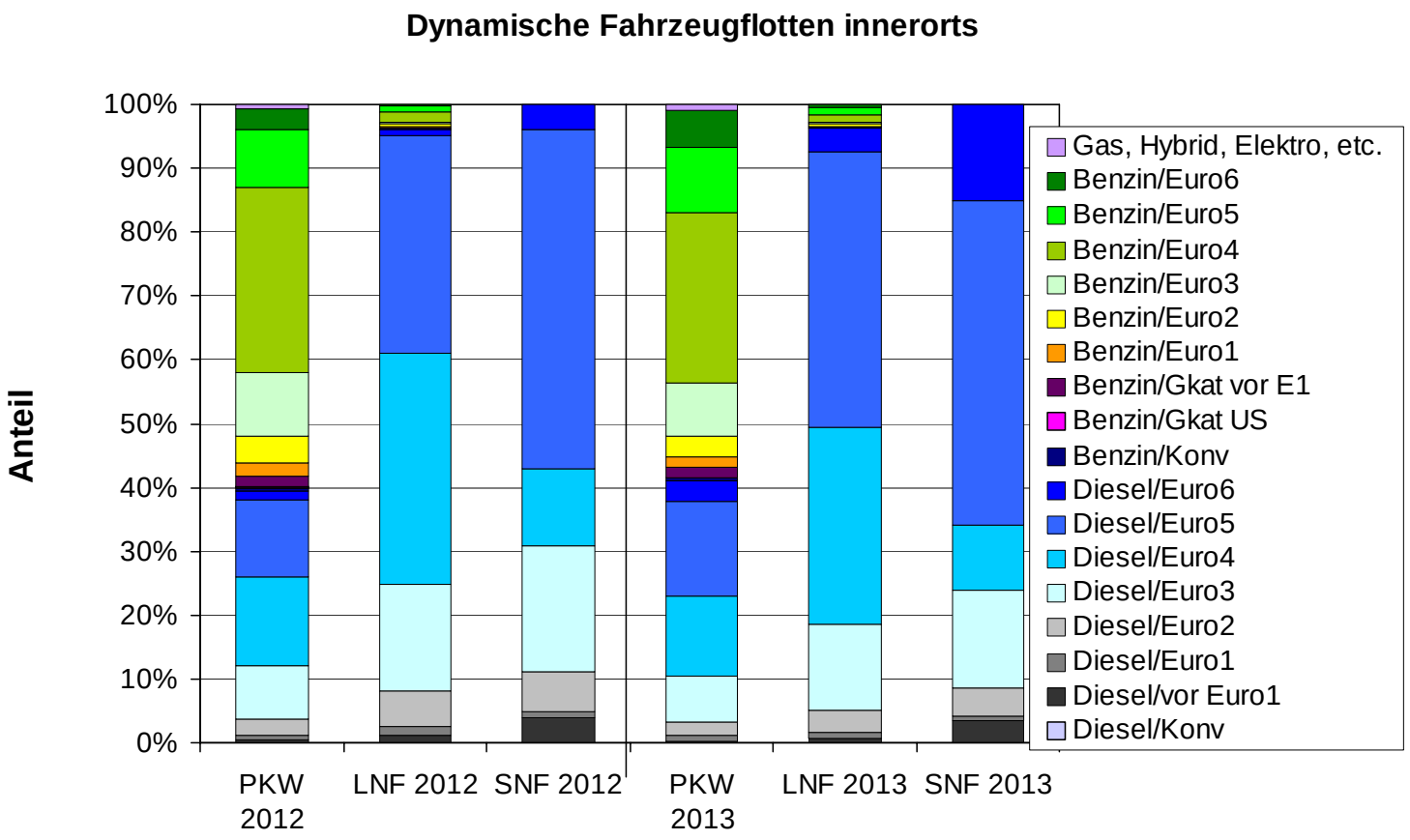


Abb. 3.4: Zusammensetzung der dynamischen Kfz-Flotte für die Jahre 2012 und 2013 entsprechend HBEFA, unterteilt nach PKW, leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG

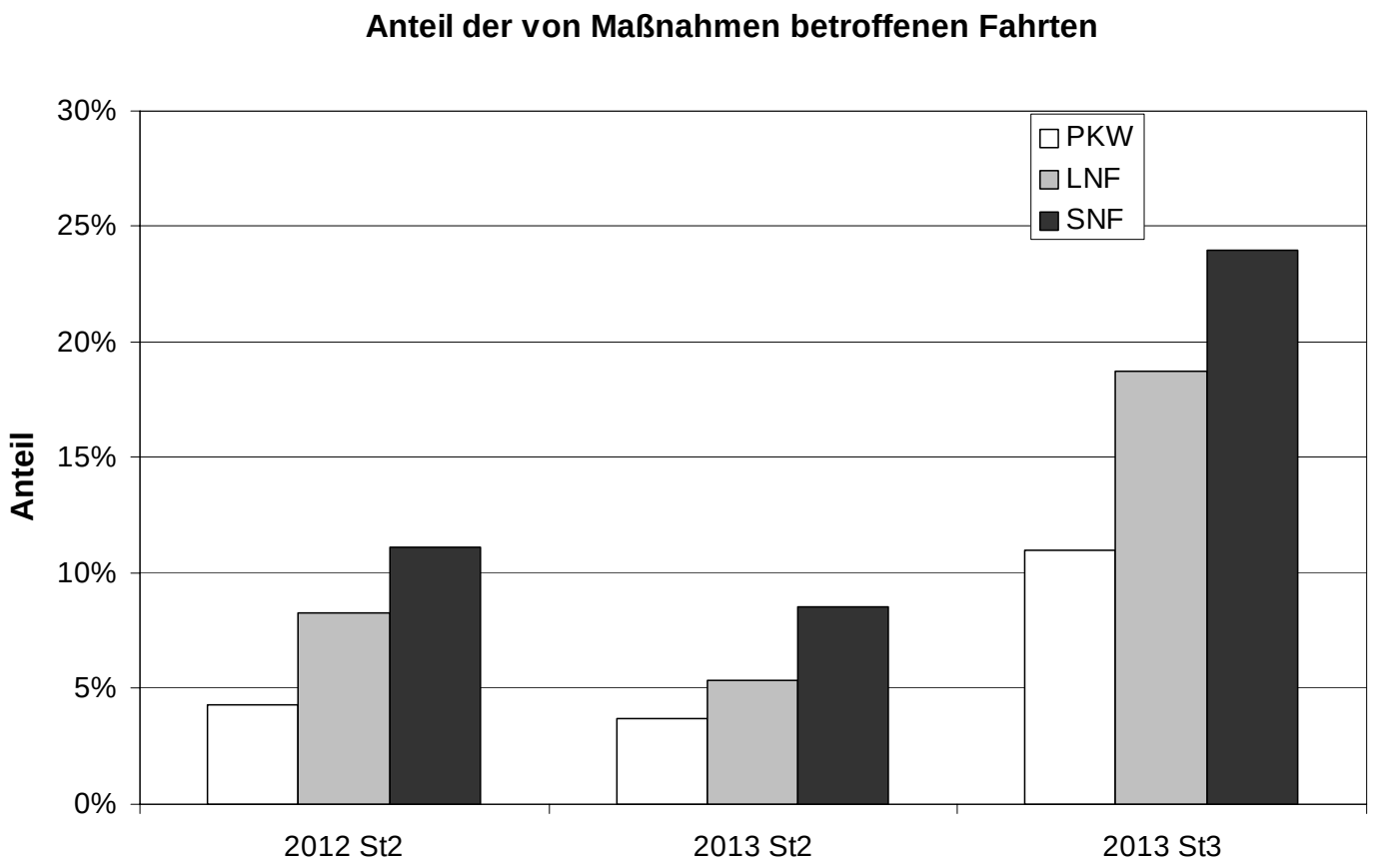


Abb. 3.5: Anteil der von den Fahrverboten der genannten Maßnahmen betroffenen Fahrten für PKW, Lieferwagen und LKW

Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG

Von den PKW-Fahrten sind gegenüber Regelungen ohne Umweltzone im Jahr 2013 durch die Maßnahme 2013 St2 knapp 4% der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 5% der Lieferwagenfahrten und ca. 9% der LKW-Fahrten betroffen. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme wird auch hier berücksichtigt, dass im Wirtschaftsverkehr nur notwendige Fahrten durchgeführt werden und deshalb eine vollständige Verlagerung der Fahrten ohne Ausnahmegenehmigungen auf Fahrzeuge erfolgt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden. Diese Annahme wurde auch auf den PKW-Verkehr übertragen und ebenfalls rechnerisch eine Änderung der Fahrzeugflotte durchgeführt.

Von den PKW-Fahrten sind gegenüber Regelungen ohne Umweltzone im Jahr 2013 durch die Maßnahme 2013 St3 ca. 11% der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 19% der Lieferwagenfahrten und ca. 24% der LKW-Fahrten betroffen. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme wird auch hier berücksichtigt, dass im Wirtschaftsverkehr nur notwendige Fahrten durchgeführt werden und deshalb eine vollständige Verlagerung der Fahrten ohne Ausnahmegenehmigungen auf Fahrzeuge erfolgt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden. Diese Annahme wurde auch auf den PKW-Verkehr übertragen und ebenfalls rechnerisch eine Änderung der Fahrzeugflotte durchgeführt.

3.4 Emissionsfaktoren

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

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

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

In der direkten Umgebung der verkehrsbezogenen Messstationen wurden folgende Verkehrssituationen herangezogen:

IOS-HVS50:	Innerstädtische Hauptverkehrsstraße,	Tempolimit	50 km/h
IOS-FernC50:	Innerstädtische Fernstraße,	Tempolimit	50 km/h.

3.4.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mithilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 3.1 (UBA, 2010) unter Berücksichtigung der dynamischen Kfz-Flottenzusammensetzung für Baden-Württemberg 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)

Die Zusammensetzung der Fahrzeuge innerhalb der Fahrzeugkategorien wird für das zu betrachtende Bezugsjahr dem HBEFA (UBA, 2010) entnommen. Darin ist die Gesetzgebung bezüglich Abgasgrenzwerten (EURO 2, 3, ...) berücksichtigt. Die Längsneigungen der Straßen sind aus den Lagedaten entnommen.

3.4.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren

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

In der vorliegenden Untersuchung werden die PM10-Emissionen aus Abrieben (Reifen, Bremsen und Straßenbelag) und infolge der Wiederaufwirbelung (Resuspension) von Straßenstaub entsprechend der in BASt (2005) sowie Düring und Lohmeyer (2004) beschriebenen Vorgehensweise angesetzt. Es werden zur Berechnung der Emissionen für die Summe aus Reifen-, Brems- und Straßenabrieb sowie Wiederaufwirbelung von eingetragenem Straßenstaub die in **Tab. 3.1** und **Tab. 3.2** exemplarisch für die innerstädtischen Verkehrssituationen an den verkehrsnahen Messstellen in Heidelberg aufgeführten Emissionsfaktoren verwendet.

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).

3.4.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen

Für die Maßnahmen 2012 St2, 2013 St2 und 2013 St3 werden für die Bezugsjahre 2012 und 2013 die Emissionsfaktoren geändert, indem die Fahrzeugflottenzusammensetzung variiert wird. Dabei wurden die Anteile der Fahrten herausgenommen, die vom jeweiligen Fahrverbot unter Berücksichtigung von Ausnahmegenehmigungen betroffen sind. Die entfallenen Fahrten werden anteilsmäßig auf die restlichen Fahrten entsprechend der bestehenden Verteilung auf die Fahrzeugkonzepte verteilt. Damit wird die Fahrzeugflotte erneuert; durch die anteilsmäßige Aufteilung entsprechend der vorliegenden Verteilung wird berücksichtigt, dass auch gebrauchte Fahrzeuge die entfallenen ersetzen, also nicht immer die neueste verfügbare Technik eingesetzt wird.

Verkehrs-situation (Kürzel)	Geschwin-digkeit in [km/h]	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2012					
		NO_x		Partikel (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)	
		PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
St1-IOS-FernC50	48.9	0.274	3.852	0.03	0.3	0.0089	0.0469
St1-IOS-HVS50	45.0	0.294	4.512	0.03	0.3	0.0098	0.0513
St2-IOS-FernC50	48.9	0.267	3.766	0.03	0.3	0.0073	0.0446
St2-IOS-HVS50	45.0	0.286	4.452	0.03	0.3	0.0081	0.0490

Tab. 3.1: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den verkehrsnahen Messstellen für das Bezugsjahr 2012 nach HBEFA unter Berücksichtigung der Flotte für Baden-Württemberg und für die Umweltzone Stufe 1 (St1) und Stufe 2 (St2)

Verkehrs-situation (Kürzel)	Geschwin-digkeit [km/h]	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2013					
		NO_x		Partikel (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)	
		PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
St1-IOS-FernC50	48.9	0.266	3.358	0.03	0.3	0.0078	0.0390
St1-IOS-HVS50	45.0	0.286	3.974	0.03	0.3	0.0086	0.0426
St2-IOS-FernC50	48.9	0.267	3.766	0.03	0.3	0.0073	0.0446
St2-IOS-HVS50	45.0	0.279	3.945	0.03	0.3	0.0071	0.0408
St3-IOS-FernC50	48.9	0.233	2.991	0.03	0.3	0.0045	0.0249
St3-IOS-HVS50	45.0	0.254	3.664	0.03	0.3	0.0051	0.0271

Tab. 3.2: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz an den verkehrsnahen Messstellen für das Bezugsjahr 2013 nach HBEFA unter Berücksichtigung der Flotte für Baden-Württemberg und für die Umweltzone Stufe 1 (St1), Stufe 2 (St2) und Stufe 3 (St3)

Entsprechend der Kennzeichnungsverordnung besteht für Dieselfahrzeuge auch die Möglichkeit der Nachrüstung mit Partikelfiltern für einen Teil der Fahrzeuge. Mit Berücksichtigung der möglichen Partikelfilternachrüstung ergeben sich für PKW und leichte Nutzfahrzeuge gegenüber der Verteilung auf die nicht vom Verbot betroffenen Fahrzeugkonzepte geringere Minderungen der Emissionsfaktoren der Fahrzeugflotte, bei schweren Nutzfahrzeugen zeichnen sich geringere Minderungen der NO_x-Emissionsfaktoren aber leicht höhere Minderungen der Partikel-Emissionsfaktoren ab. Die rechnerische Umsetzung der Maßnahmen erfolgt in dieser Untersuchung entsprechend der Verteilung auf die nicht vom Verbot betroffenen Fahrzeugkonzepte.

3.5 Meteorologische Daten

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

Für Heidelberg liegen Messdaten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten an der Luftmessstation im Oberrheingraben vor. Weiterhin liegen Darstellungen der Häufigkeiten der Windrichtung für mehrere Messorte in Heidelberg mit dem Bericht "Stadtklima Heidelberg" (Stadt Heidelberg, 1995) vor. Danach weisen die im Oberrheingraben gelegenen städtischen Bereiche vergleichbare Windrichtungsverteilungen auf. Nur im Neckartal und damit in der Innenstadt von Heidelberg sind abweichende Windrichtungsverteilungen gegeben.

Abb. 3.6 zeigt die Windrose der Station Heidelberg. Die Hauptwindrichtungen werden durch südöstliche Winde geprägt. Weitere Nebenmaxima der Häufigkeiten werden durch Winde aus nordwestlicher sowie östlicher Richtung gekennzeichnet. Die mittlere jährliche Windgeschwindigkeit beträgt in Messhöhe aufgrund der Lage in städtischer Umgebung ca. 1.7 m/s. Diese Daten werden für die Ausbreitungsrechnung angesetzt, wobei die Ausbreitungsklassen aus den Bewölkungsangaben der Wetterstation Mannheim abgeleitet werden.

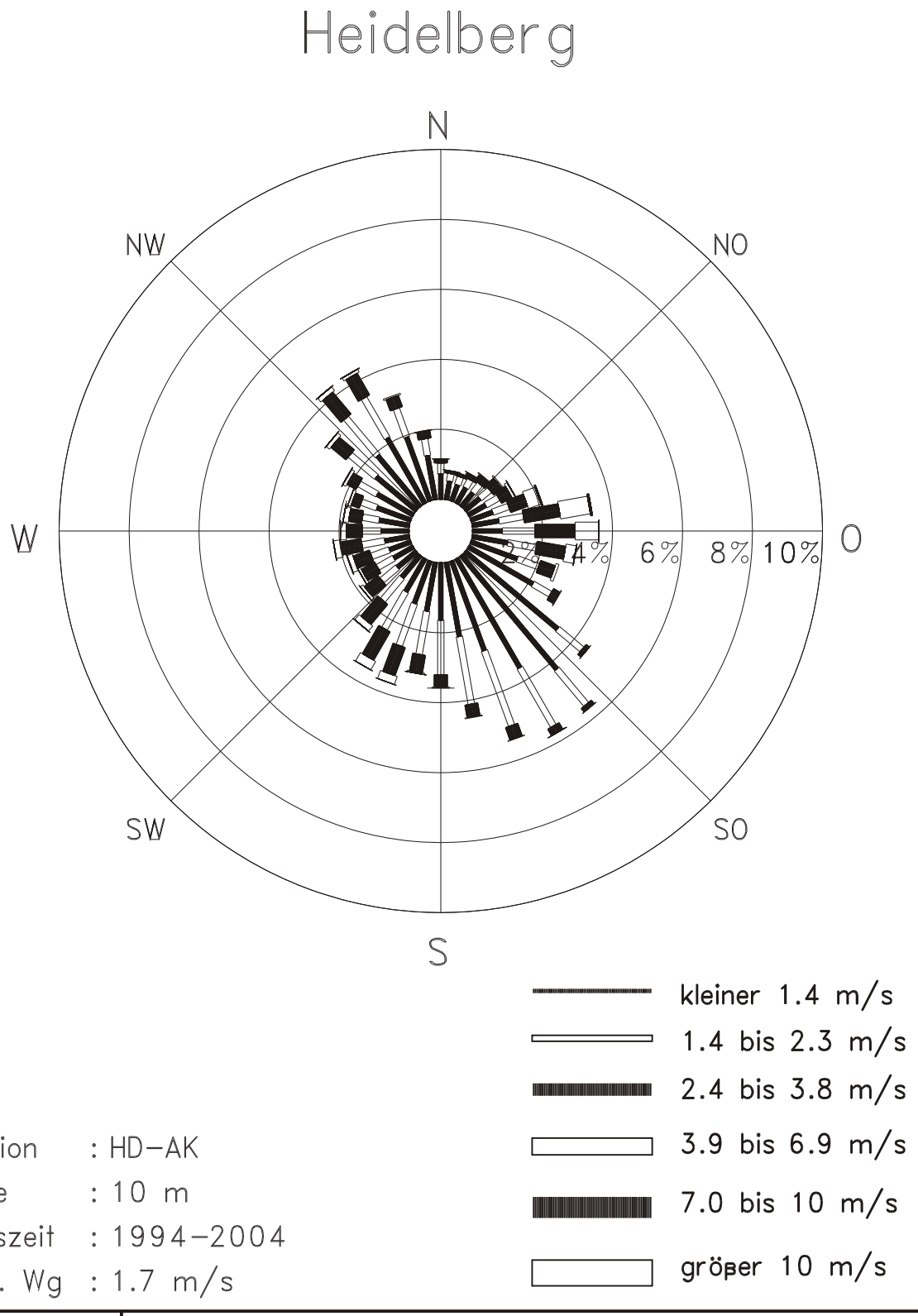


Abb. 3.6: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung für den Standort Heidelberg.
Quelle: LUBW

4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN

4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte

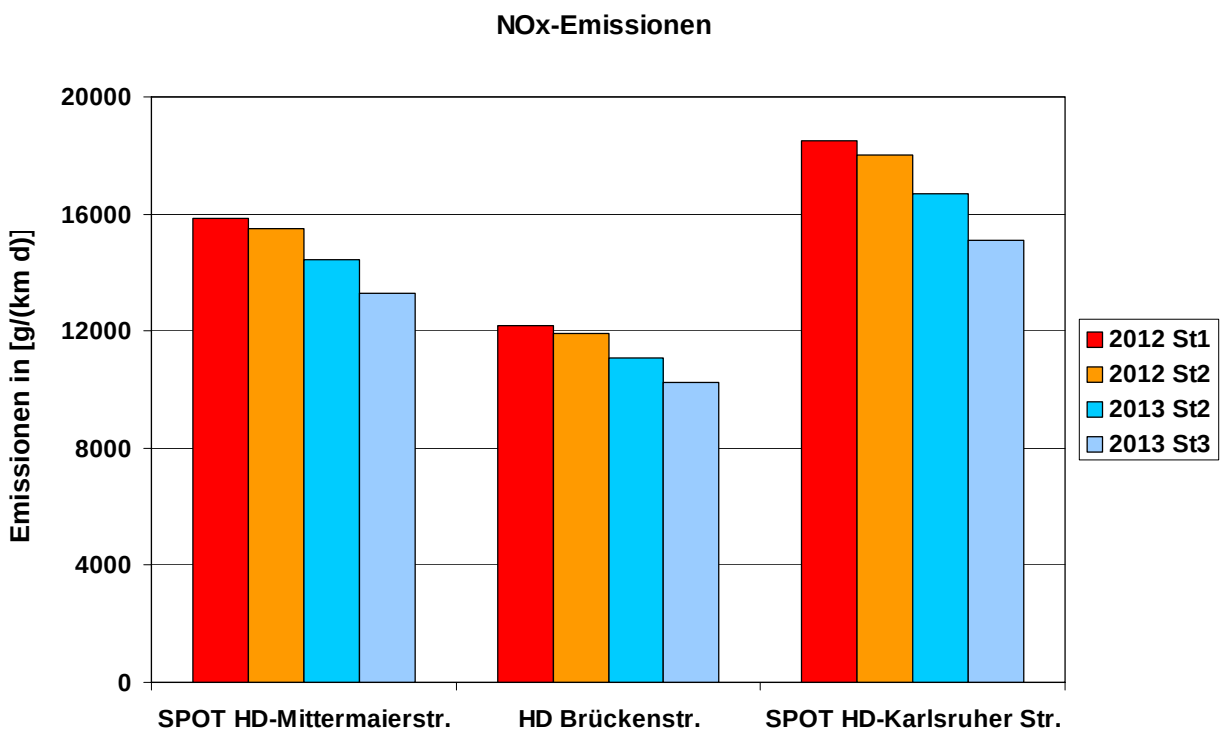
Basierend auf den o.g. Flotten- und Emissionsdaten werden die Emissionen für die Hauptverkehrsstraßen in Heidelberg berechnet. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse konzentriert sich im Folgenden auf die Abschnitte an den drei Messstationen HD – Mittermaierstraße, HD - Karlsruhe Straße und HD - Brückenstraße, an denen Immissionsmessdaten vorliegen.

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

Die berechneten mittleren täglichen Emissionen sind in **Abb. 4.1** und **Abb. 4.2** (oben) und als relative Darstellungen, bezogen auf die Emissionsmodellierung des Ausgangszustandes im Bezugsjahr 2012, in **Abb. 4.1** und **Abb. 4.2** (unten) aufgezeigt. Bei den Darstellungen sind die Summen aus „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ Partikelemissionen sowie die NO_x-Emissionen betrachtet.

Entsprechend dem Verkehrsaufkommen und den angesetzten Verkehrssituationen sind von den drei betrachteten Straßenabschnitten an der Karlsruher Straße die höchsten Emissionen und an der Brückenstraße die geringsten Emissionen berechnet. Der relative Vergleich zeigt für die einzelnen Maßnahmen und Fälle für die drei Abschnitte vergleichbare Änderungen.

Für die Verschärfung der Maßnahmen der Umweltzonen werden gegenüber dem Referenzzustand geringere Emissionen berechnet. So sind in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand mit der Maßnahme 2012 St2 ca. 97% bis 98%, im Jahr 2013 mit Umweltzone Stufe 2 (Maßnahme 2013 St2) etwa 90% bis 91% und im Jahr 2013 mit Umweltzone Stufe 3 (Maßnahme 2013 St3) ca. 82% bis 84% der NO_x-Emissionen zu erwarten. Die genannten Maßnahmen tragen zur Minderung der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen bei. Die intensivste Minderung der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen wird durch die Umweltzone mit der Stufe 3 bewirkt.



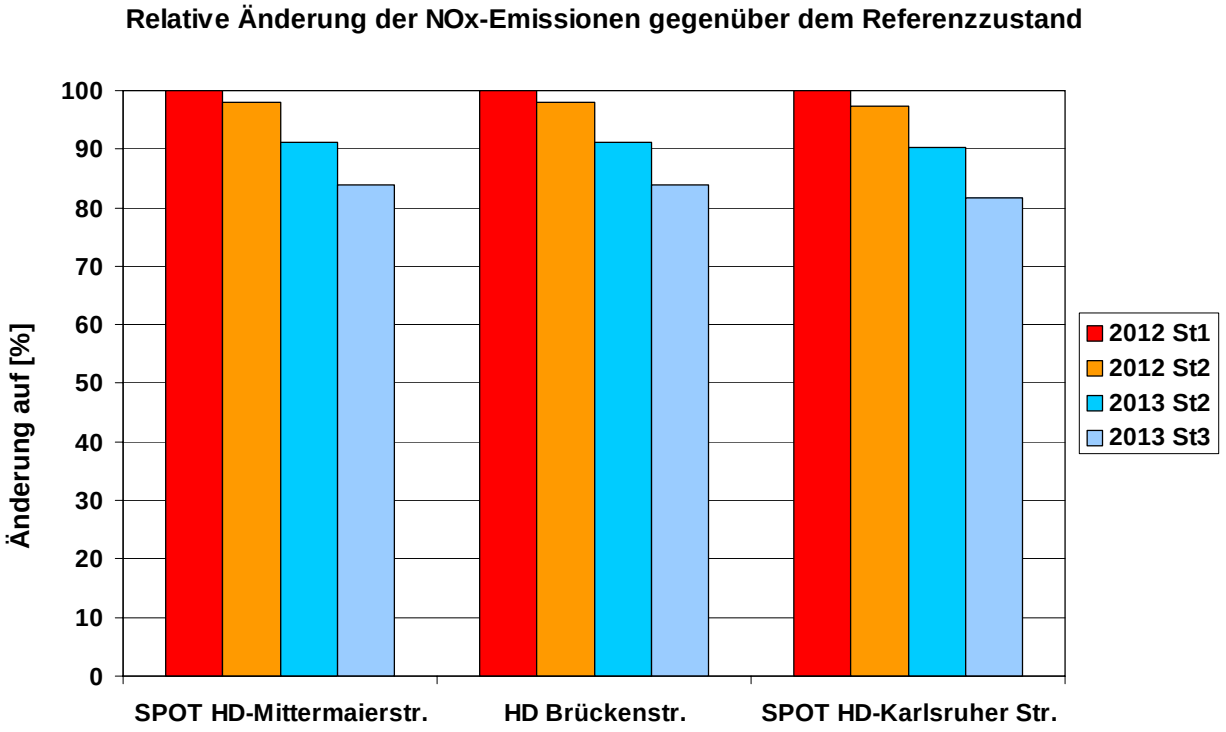
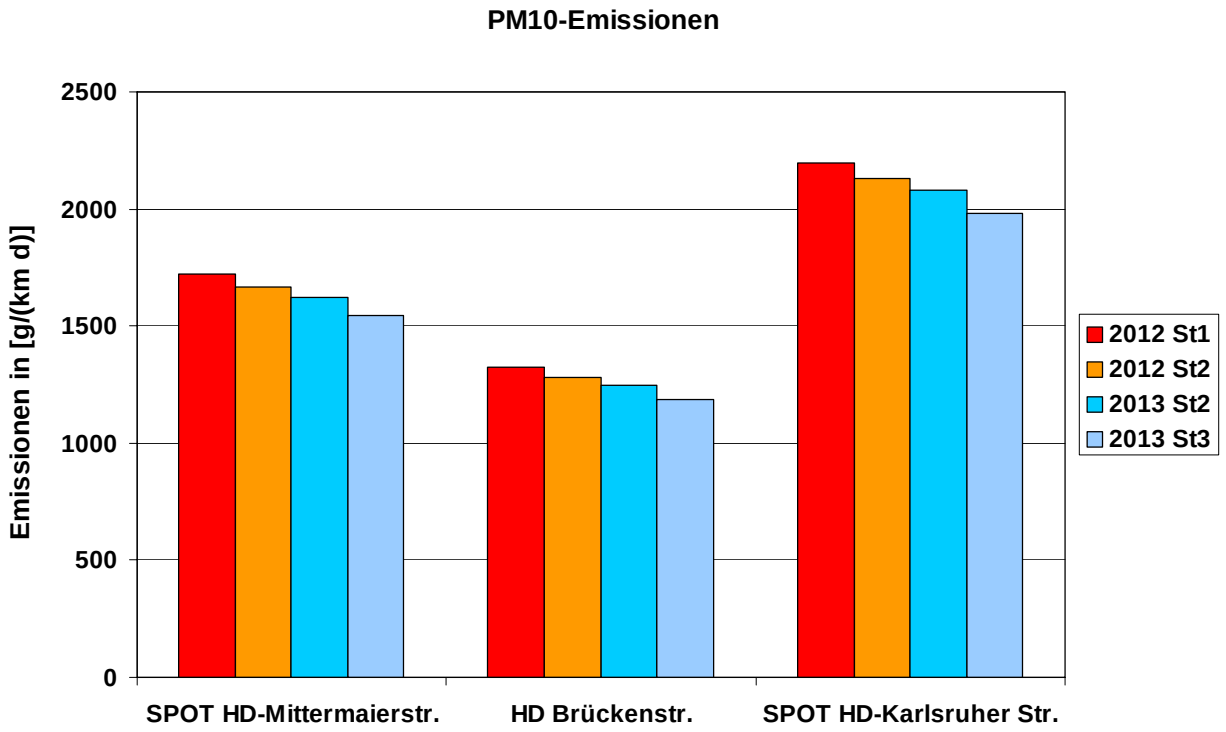


Abb. 4.1: NO_x-Emissionen an der Mittermaier-, Brücken- und der Karlsruher Straße in Heidelberg für die betrachteten Maßnahmen und Fälle.
oben: NOx-Emissionen
unten: Relative Änderung gegenüber dem Referenzzustand
2012 St1



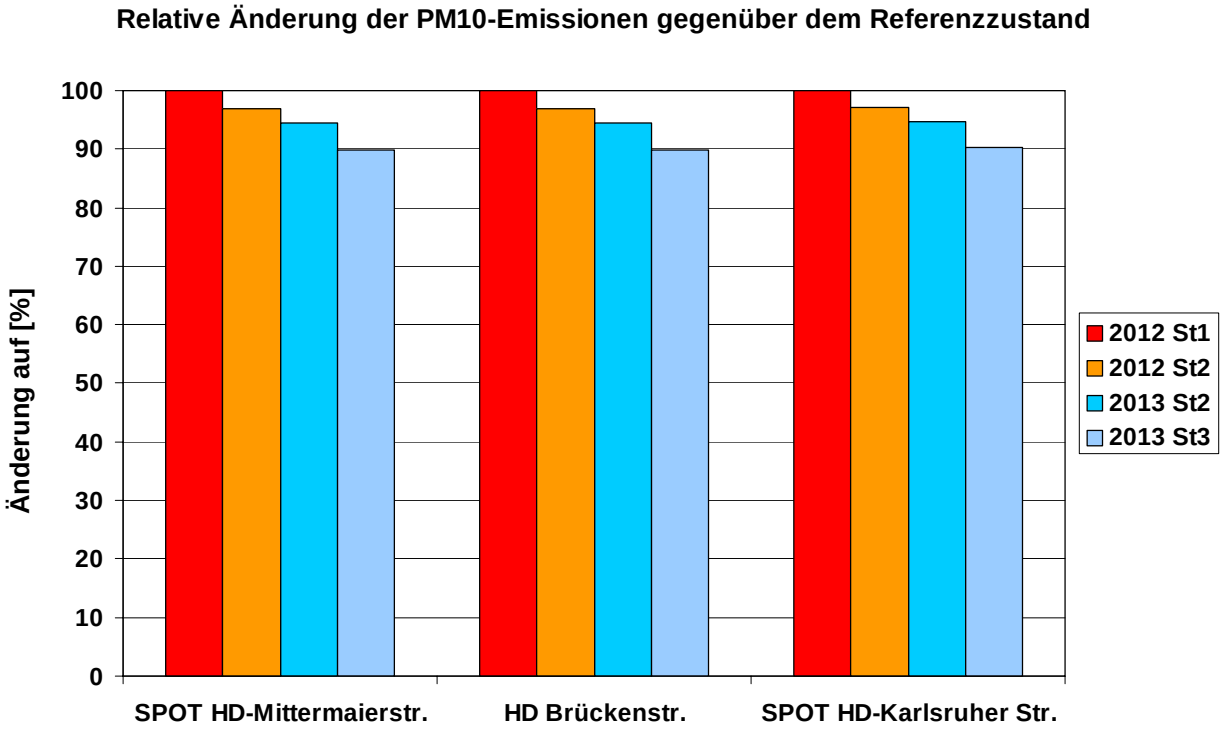


Abb. 4.2: PM10-Emissionen an der Mittermaier-, Brücken- und der Karlsruher Straße in Heidelberg für die betrachteten Maßnahmen und Fälle.
oben: PM10-Emissionen
unten: Relative Änderung gegenüber dem Referenzzustand
2012 St1

Die PM10-Emissionen weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand mit der Maßnahme 2012 St2 Emissionsminderungen auf etwa 97%, im Jahr 2013 mit Umweltzone Stufe 2 (Maßnahme 2013 St2) auf ca. 95% und im Jahr 2013 mit der Maßnahme 2013 St3 auf ca. 90% der PM10-Emissionen auf. Die beschriebenen Maßnahmen der Fahrverbote nach der Kennzeichnungsverordnung tragen zur Minderung der verkehrsbedingten PM10-Emissionen bei. Bei den PM10-Emissionen ist zu beachten, dass der nicht motorbedingte Anteil 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. Die „nicht motorbedingten“ Beiträge der PM10-Belastungen sind überwiegend der gröberen Fraktion zuzuschreiben und damit gegenüber den sehr feinen motorbedingten Partikeln weniger lungengängig.

4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen

Seit 1984 werden in Heidelberg Messungen durch die LUBW und deren Vorgängerinstitutionen im Rahmen des Luftmessnetzes Baden Württemberg durchgeführt. Darüber hinaus betreibt die LUBW zeitweise zusätzliche verkehrsbezogene SPOT-Messstellen im Stadtgebiet von Heidelberg. **Tab. 4.1** zeigt eine Zusammenstellung der Messdaten in Heidelberg der Jahre 2003 bis 2009.

Für die Anwendung der vorgestellten Emissionsermittlung und der darauf aufbauenden Maßnahmen werden Ausbreitungsrechnungen mit dem Berechnungsverfahren PROKAS und dem Bebauungsmodul PROKAS_B durchgeführt. Die in den Berechnungen anzusetzende Hintergrundbelastung wird aus umliegenden Stationen abgeleitet und dann auf die verkehrsbeeinflussten Messstellen HD - Mittermaierstraße, HD - Karlsruher Straße und HD - Brückenstraße mit einem NO_2-Jahresmittelwert von 26 µg/m³ und PM10-Jahresmittelwert von 19 µg/m³ angewendet, um einen Vergleich zwischen den Mittelwerten der Messdaten und den Berechnungsergebnissen zu erhalten. Bei den Berechnungen wird die Randbebauung typisiert nach Straßenraumbreite mit einer Länge von ca. 100 m berücksichtigt. Innerhalb dieser Straßenabschnitte wird eine einheitliche Immission berechnet.

Mit der selben Vorgehensweise wie für die Ausarbeitungen zum Luftreinhalteplan von 2006 wurden die Immissionsberechnungen für die Maßnahmen 2012 St2, 2013 St2 und 2013 St3 durchgeführt. Die Ergebnisse werden zusammenfassend für die genannten Straßenabschnit-

te als relative Änderungen dargestellt, um die Auswirkungen der Maßnahmen und der zeitlichen Entwicklungen der Kfz-Flotte auf die Gesamtbelastungen zu beschreiben.

Schadstoff-komponente		Heidelberg	HD Karlsruher Straße	HD Mittermaier Straße	HD-Brücken-straße
NO_2-Jahresmittel	2003	31	58	-	-
	2004	30	57	76	57
	2005	32	-	77	-
	2006	30	50	-	-
	2007	32	43	-	-
	2008	28	-	-	-
	2009	28	*49	58	-
NO_2-98-Perzentil	2003	78	-	-	-
	2004	72	-	-	-
	2005	78	-	-	-
	2006	76	109	-	-
	2007	77	96	-	-
	2008	69	-	-	-
	2009	79	*104	-	-
PM10-Jahresmittel	2003	25	-	-	-
	2004	22	-	-	-
	2005	24	-	-	-
	2006	26	30	-	-
	2007	22	29	-	-
	2008	19	-	-	-
	2009	22	*32	30	-
PM10-Überschreitungen (Anzahl der Tage über 50 µg/m³)	2003	11	-	-	-
	2004	11	-	-	-
	2005	11	-	-	-
	2006	21	28	-	-
	2007	13	29	-	-
	2008	6	-	-	-
	2009	15	*30	26	-

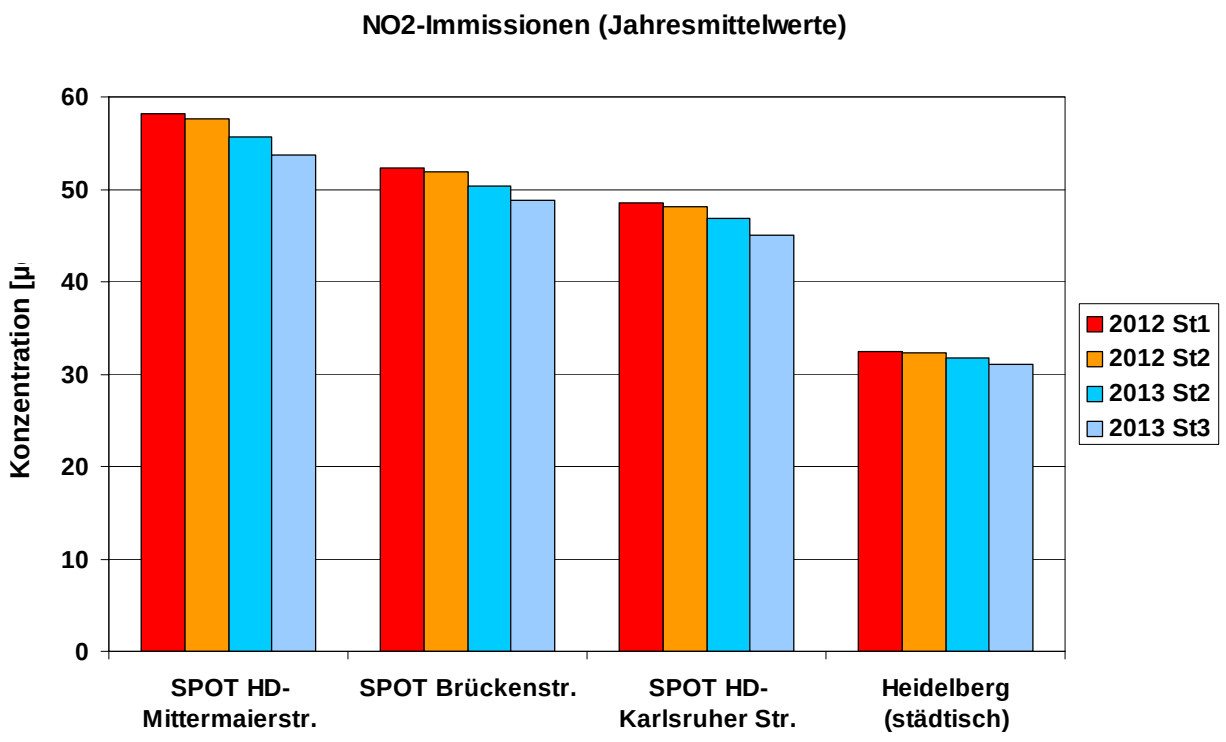
Tab. 4.1: Messdaten an den Messstationen in Heidelberg. Quelle: LUBW (2005-2010a), LUBW (2004-2010b), UMEG (2004). Mit * gekennzeichnete Werte haben nach LUBW aufgrund verringerter Datenverfügbarkeit nur orientierenden Charakter.

In **Abb. 4.3** (oben) sind die berechneten Jahresmittelwerte für NO_2 sowie in **Abb. 4.3** (unten) die relativen Änderungen der berechneten NO_2-Belastungen für die Jahre 2012 und 2013 sowie für die Maßnahmen 2012 St2, 2013 St2 und 2013 St3 bezogen auf den Referenzzustand aufgezeigt. In **Abb. 4.4** (oben) sind entsprechend die berechneten Jahresmittelwerte für PM10 sowie in **Abb. 4.4** (unten) die relativen Änderungen der berechneten PM10-Belastungen für die verschärfte Umweltzone mit den Maßnahmen 2012 St2, 2013 St2 und 2013 St3 bezogen auf den Referenzzustand dargestellt. Im Anhang A2 sind die berechneten Immissionen für die betrachteten Straßen in Heidelberg grafisch dargestellt.

Die berechneten NO_2-Immissionen an den verkehrsbezogenen Stationen weisen gegenüber dem Referenzzustand, der Umweltzone mit Stufe 1 im Jahr 2012, im Jahr 2012 mit der Stufe 2 (Maßnahme 2012 St2) nahezu unveränderte Werte auf, mit der Maßnahme 2013 St2 im Jahr 2013 Verringerungen auf ca. 97% und mit der Maßnahme 2013 St3 im Jahr 2013 Verringerungen auf ca. 93% bis 94% der Gesamtbelastung auf. Die Verschärfung der Maßnahmen der Umweltzonen verringert die NO_2-Immissionen im Jahresmittel an den verkehrsbezogenen Standorten um einige µg/m³ und sie tragen zur Verringerung der teilweise deutlichen Überschreitung des Grenzwertes bei.

Die Ergebnisse der berechneten PM10-Belastungen sind für die Standorte der verkehrsbezogenen Messstationen in **Abb. 4.4** dargestellt. Gegenüber dem Referenzzustand werden im Jahr 2012 durch die Maßnahme 2012 St2 nahezu unveränderte Werte, im Jahr 2013 mit der Maßnahme 2013 St2 Verringerungen auf ca. 98% und durch die Maßnahme 2013 St3 im Jahr 2013 Verringerungen auf ca. 96% bis 97% der Gesamtbelastung erwartet.

Die PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) verringern sich an der Mittermaierstraße ausgehend vom Referenzzustand mit 32 µg/m³ auf 30 µg/m³ durch die weitestgehende Maßnahme. An den anderen Standorten sind jahresmittlere PM10-Immissionen unter 30 µg/m³ im Referenzzustand berechnet, die sich durch die Maßnahmen verringern. Aus den PM10-Jahresmittelwerten werden Rückschlüsse auf die Anzahl an Überschreitungstagen mit Tagesmittelwerten über 50 µg/m³ gezogen, indem die Überschreitung des Schwellenwertes von 29 µg/m³ im Jahresmittel eine Überschreitung der Kurzzeitbelastung erwarten lässt. Danach sind nur an der SPOT-Messstelle Mittermaierstraße Überschreitungen der PM10-Kurzzeitbelastung nicht auszuschließen.



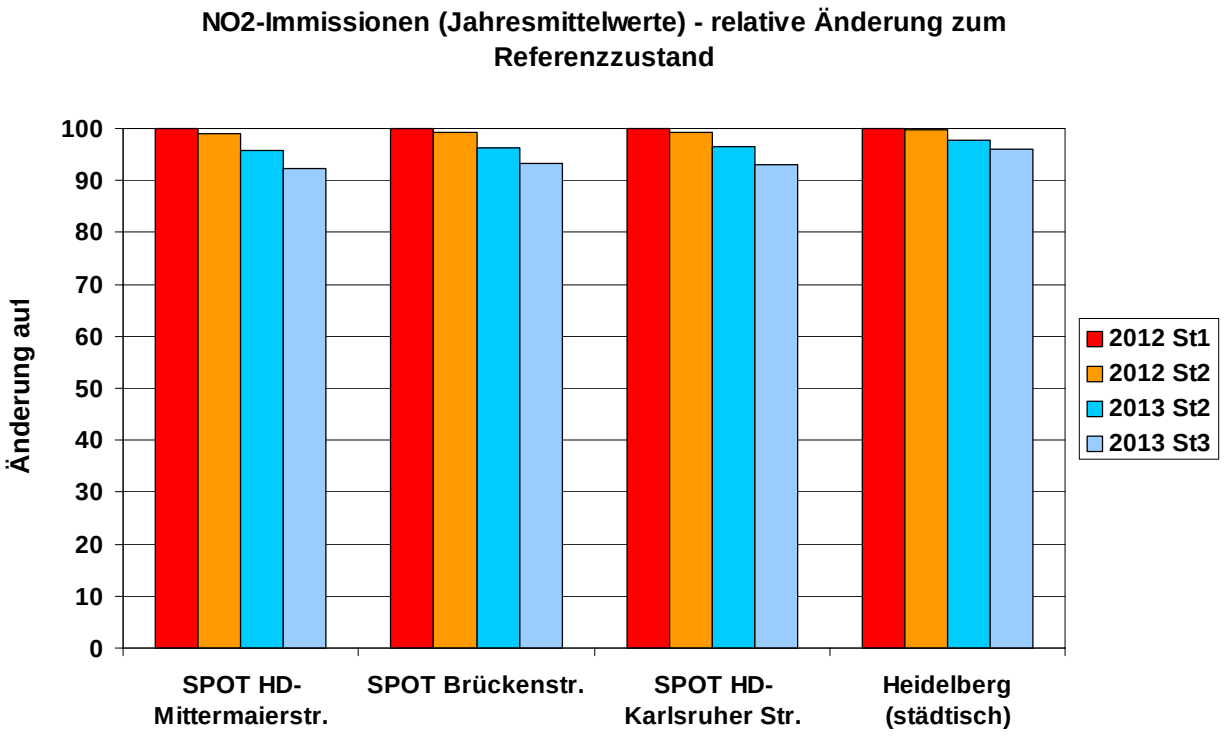
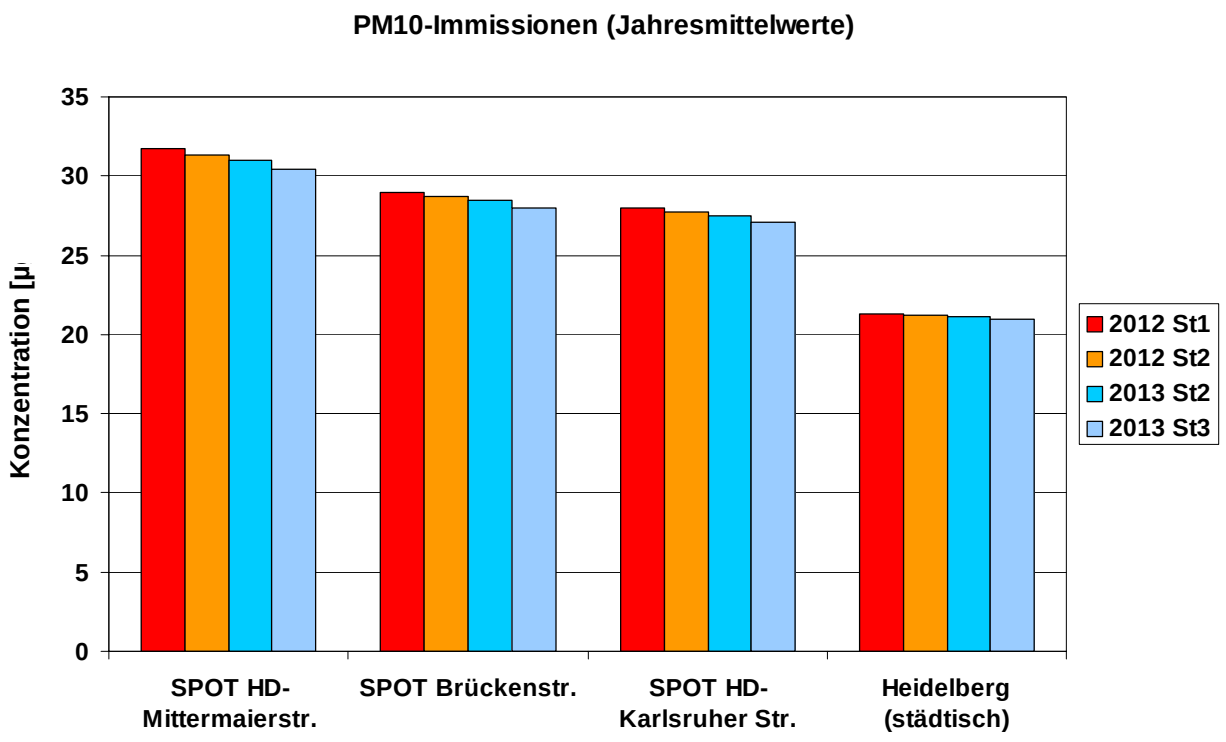


Abb. 4.3: NO_2-Immissionen an den verkehrsbezogenen Stationen Mittermaier-, Brücken- und Karlsruher Straße und der städtischen Station in Heidelberg für die betrachteten Maßnahmen und Fälle.
oben: NO_2-Immissionen
unten: Relative Änderung gegenüber dem Referenzzustand 2012



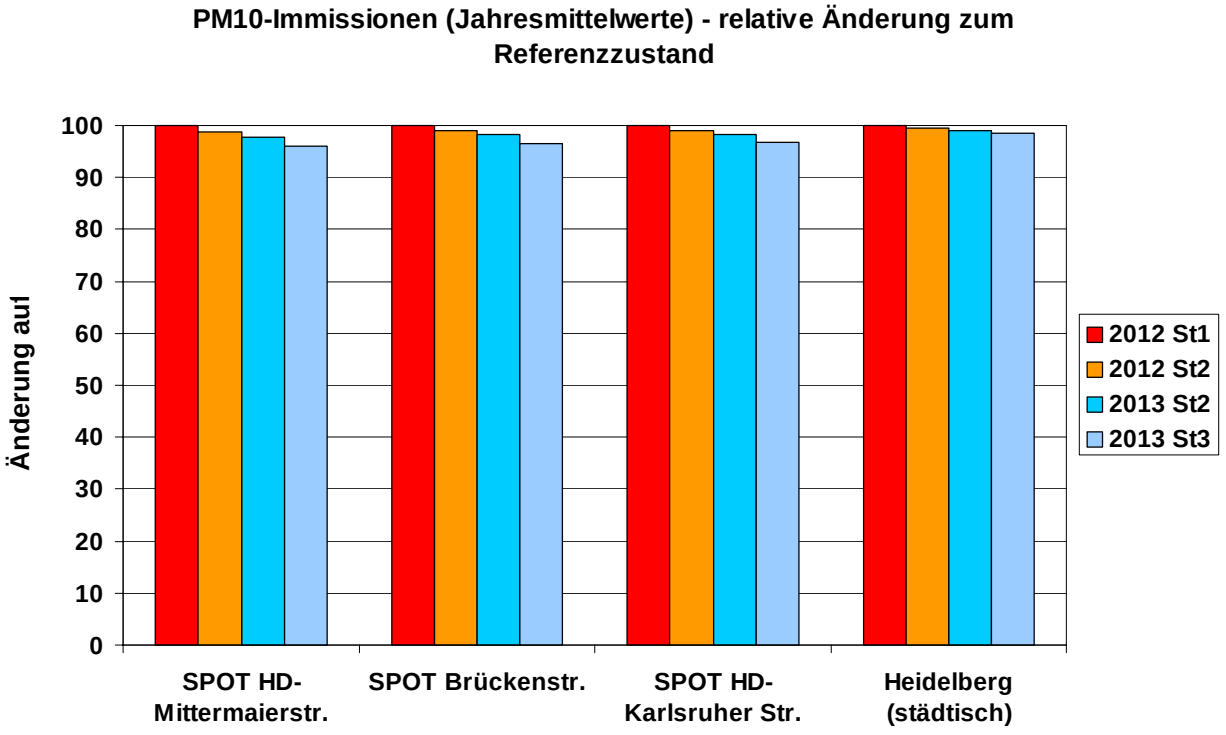


Abb. 4.4: PM10-Immissionen an den verkehrsbezogenen Stationen Mittermaier-, Brücken- und Karlsruher Straße und der städtischen Station in Heidelberg für die betrachteten Maßnahmen und Fälle.
oben: PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte)
unten: Relative Änderung gegenüber dem Referenzzustand 2012

Ergänzend zu den PM10-Berechnungen ist zu erwähnen, dass in der 39. BImSchV auch ein Grenzwert für PM2.5 von 25 µg/m³ angegeben ist, der ab dem Jahr 2015 einzuhalten ist. Für den Grenzwert ist zudem eine Toleranzmarge von 5 µg/m³ angegeben. Sie verringert sich ab dem Jahr 2009 jährlich um ein siebtel bis auf 0 zum 1. Januar 2015. Damit ist in dem hier betrachteten Prognosejahr 2012 ein Übergangsbeurteilungswert für PM2.5 von ca. 27 µg/m³ einzuhalten und im Prognosejahr 2013 ein Übergangsbeurteilungswert von ca. 26 µg/m³. Zusätzlich ist ein Richtgrenzwert von 20 µg/m³ (Jahresmittelwert), der ab dem Jahr 2020 einzuhalten ist, angegeben.

An den betrachteten Straßenabschnitten der Messstationen in Heidelberg sind schon im Referenzzustand keine Konflikte mit dem PM2.5-Grenzwert zu erwarten.

Insgesamt ist aus den Ergebnissen der Berechnungen zu schließen, dass durch die jeweiligen Umweltzonen und den damit vorgezogenen Erneuerungen der Kfz-Fahrzeugflotte Verringerungen der motorbedingten Schadstofffreisetzungen verbunden sind, die auch zu Verringerungen der NO_2- und PM10-Immissionen führen. Die teilweise deutlichen Überschreitungen des NO_2-Jahresmittelgrenzwertes an den verkehrsbezogenen Messstationen in Heidelberg werden durch die Maßnahmen entsprechend der Berechnungsergebnisse verringert; eine Einhaltung des Grenzwertes ist jedoch nicht direkt ableitbar.

5 LITERATUR

39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV), Entwurf der Neufassung vom 7. Mai 2010.

AVISO (2009): Prognose der dynamischen Kfz-Flotte für Baden-Württemberg für die Jahre 2011 und 2013 im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg.

Bächlin, W., Bösinger, R. (2007): Aktualisierung des NO-NO_2-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Projekt 60976-04-01. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen (unveröffentlicht).

BASt (1986): Straßenverkehrszählungen 1985 in der Bundesrepublik Deutschland. Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Schriftenreihe Straßenverkehrszählungen, Heft 36. Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bergisch Gladbach, 1986. Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.

BASt (2005): PM10-Emissionen an Außerortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM10-Konzentrationen aus Messungen an der A 1 Hamburg und Ausbreitungsrechnungen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 125, Bergisch-Gladbach, Juni 2005.

Düring, I., Lohmeyer, A. (2004): Modellierung nicht motorbedingter PM10-Emissionen von Straßen. KRdL-Experten-Forum „Staub und Staubinhaltsstoffe“, 10./11. November 2004, Düsseldorf. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, KRdL-Schriftenreihe Band 33.

Filliger, P., Puybonnieux-Texier, 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., Bösinger, R., Blazek, R., Schädler, G., Lohmeyer, A. (1996): Einfluss der Eingangsparameter auf berechnete Immissionswerte für KFZ-Abgase - Sensitivitätsanalyse. In: FZKA PEF-Bericht 150, Forschungszentrum Karlsruhe.

Kutzner, K., Diekmann, H., Reichenbächer, W. (1995): Luftverschmutzung in Straßenschluchten - erste Messergebnisse nach der 23. BImSchV in Berlin. VDI-Bericht 1228, VDI-Verlag, Düsseldorf.

Lohmeyer, A., Nagel, T., Clai, G., Düring, I., Öttl, D. (2000): Bestimmung von Kurzzeitbelastungswerten - Immissionen gut vorhergesagt. In: Umwelt (kommunale ökologische Briefe) Nr. 01/05.01/2000.

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.

LUA NRW (2006): Jahresbericht 2005, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, Februar 2006, www.lua.nrw.de bzw. www. lanuv.nrw.de

LUBW (2005-2010a): Spotmessungen 2004 bis 2009 – Darstellung der Messergebnisse. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Im Internet unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de.

LUBW (2004-2010b): Kenngrößen der Luftqualität, Jahresdaten 2003 bis 2009. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Im Internet unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de.

RLS-90 (1990): Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. Hrsg.: Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau. Ausgabe 1990.

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., Bösinger, R., Lohmeyer, A., Ruhnke, R., Röth, E. (1996): NO-NO_2-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für KFZ-Abgase. Hrsg.: Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft, Band 56, Heft 6, S. 215-218.

Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, T. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. In: Berichte Umweltforschung Baden-Württemberg (FZKA-PEF 138).

Stadt Heidelberg (1995): Stadtklima Heidelberg.

UBA (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1/Febr. 2010. Dokumentation zur Version Deutschland erarbeitet durch INFRAS AG Bern/Schweiz in Zusammenarbeit mit IFEU Heidelberg. Hrsg: Umweltbundesamt Berlin. Herunterladbar unter http://www.hbefa.net/.

UMEG (2004): Messungen zum Vollzug der 23. BImSchV in Baden-Württemberg 2002/2003 - Abschlussbericht. Bearbeitung: UMEG Zentrum für Umweltmessungen, Umwelterhebungen und Gerätesicherheit Baden-Württemberg, Karlsruhe, Bericht-Nr.: 21/03-2004.

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

A N H A N G A1:

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 kommt 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 NO_2 erfolgt nach Romberg et al. (1996) mit Aktualisierung für aktuelle Messdaten (Bächlin, 2007).

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

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

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

Aus den dimensionslosen Konzentrationen errechnen sich die vorhandenen Abgaskonzentrationen c zu

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

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

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

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

Tab. A1.1: Typisierung der Straßenrandbebauung

A1.3 Fehlerdiskussion

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

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

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

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

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

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

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

Weitere Fehlerquellen liegen in der Fahrleistungsverteilung innerhalb der nach Fahrzeugschichten aufgeschlüsselten Fahrzeugflotte, dem Anteil der mit nicht betriebswarmem Motor gestarteten Fahrzeuge (Kaltstartanteil) und der Modellierung des Verkehrsablaufs. Je nach betrachtetem Schadstoff haben diese Eingangsdaten einen unterschiedlich großen Einfluss auf die Emissionen. Untersuchungen haben beispielsweise gezeigt, dass die Emissionen, ermittelt über Standardwerte für die Anteile von leichten und schweren Nutzfahrzeugen und für die Tagesganglinien im Vergleich zu Emissionen, ermittelt unter Berücksichtigung entsprechender Daten, die durch Zählung erhoben wurden, Differenzen im Bereich von +/-20% aufweisen.

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

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

A1.4 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte

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

Zur Ermittlung der in der 39. BImSchV definierten Anzahl von Überschreitungen eines Tagesmittelwertes der PM10-Konzentrationen von 50 µg/m^3 wird ein ähnliches Verfahren eingesetzt. Im Rahmen eines Forschungsprojektes für die Bundesanstalt für Straßenwesen wurde aus 914 Messdatensätzen aus den Jahren 1999 bis 2003 eine gute Korrelation zwischen der Anzahl der Tage mit PM10-Tagesmittelwerten größer als 50 µg/m^3 und dem PM10-Jahresmittelwert gefunden (**Abb. A1.1**). 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. A1.1** dargestellt.

Im Oktober 2004 stellte die Arbeitsgruppe ,,Umwelt und Verkehr'' der Umweltministerkonferenz (UMK) aus den ihr vorliegenden Messwerten der Jahre 2001 bis 2003 eine entsprechende Funktion für einen „best fit“ vor (UMK, 2004). Diese Funktion zeigt bis zu einem Jahresmittelwert von ca. 40 µg/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 µg/m^3 erwartet.

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

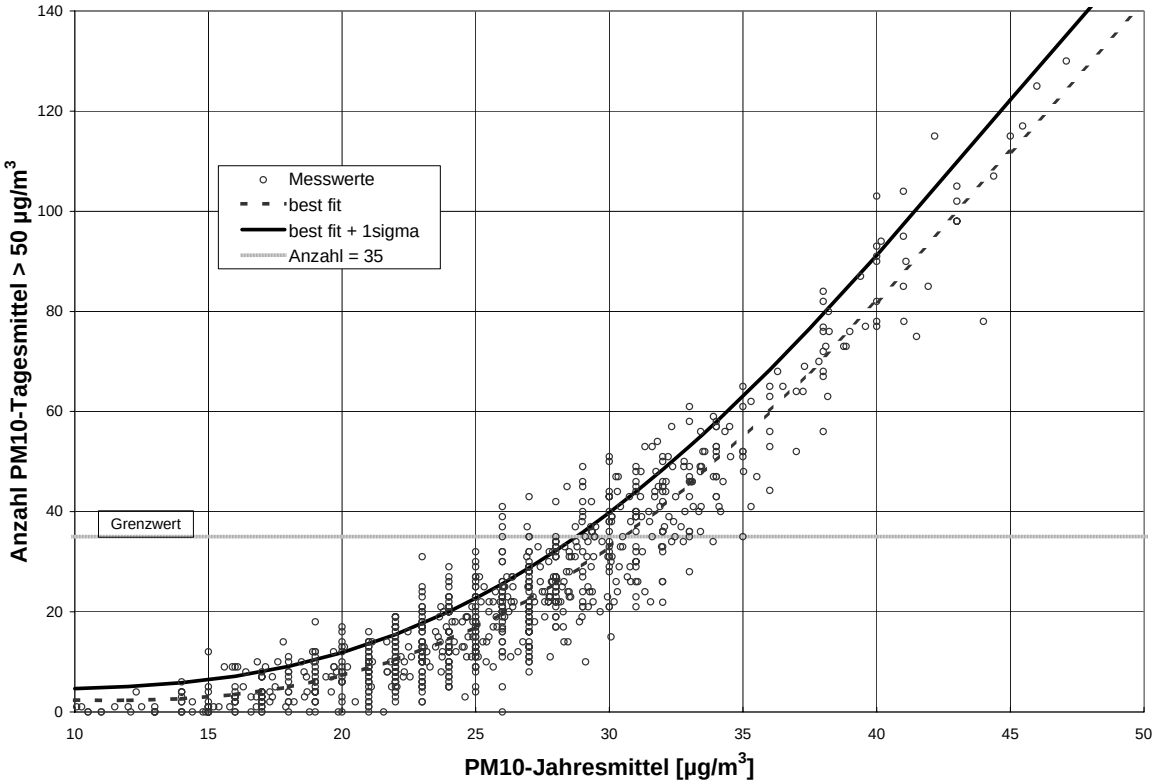


Abb. A1.1: Anzahl der Tage mit mehr als 50 µg PM10/m^3 im Tagesmittel in Abhängigkeit vom PM10-Jahresmittelwert für Messstationen der Länder und des Umweltbundesamtes (1999-2003) sowie die daraus abgeleiteten Funktionen (BASt, 2005)

A N H A N G A2:

IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSENNETZ HEIDELBERG

A2 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSEN-NETZ HEIDELBERG

In Kap. 4 sind die relativen Änderungen der Immissionen an den betrachteten Straßenabschnitten der bestehenden verkehrsnahen Messstellen Mittermaierstraße, Karlsruher Straße und Brückenstraße in Heidelberg aufgeführt.

Die Berechnungen wurden für das gesamte Hauptverkehrsstraßennetz von Heidelberg durchgeführt. Diese Ergebnisse werden an den Straßenabschnitten mit bestehender Randbebauung für Bereiche von der zur Fahrbahn nächstgelegenen Bebauung und für Straßenabschnitte ohne Randbebauung für einen Immissionsort in ca. 10 m Abstand zur Straße grafisch aufgezeigt. In der Grafik sind Konzentrationswerte über 40 µg/m³, d.h. über dem NO_2-Grenzwert der 39. BImSchV, in gelben und roten Farben dargestellt. Die Ergebnisse der Berechnungen für NO_2-Jahresmittelwerte für alle betrachteten Hauptverkehrsstraßen im Stadtgebiet von Heidelberg werden für das Jahr 2012 im Referenzzustand 2012 St1, mit der Maßnahme 2012 St2, der Maßnahme 2013 St2 sowie für das Jahr 2013 mit der Maßnahme 2013 St3 in **Abb. A2.1** bis **Abb. A2.4** dargestellt.

Aus den Darstellungen für das gesamte Hauptverkehrsstraßennetz von Heidelberg ist abzulesen, dass nicht nur an den Messstandorten deutliche Immissionen vorherrschen. Mit den betrachteten Maßnahmen wird die Anzahl der Straßenabschnitte, an denen Konzentrationen über denen des Grenzwertes berechnet sind, verringert.

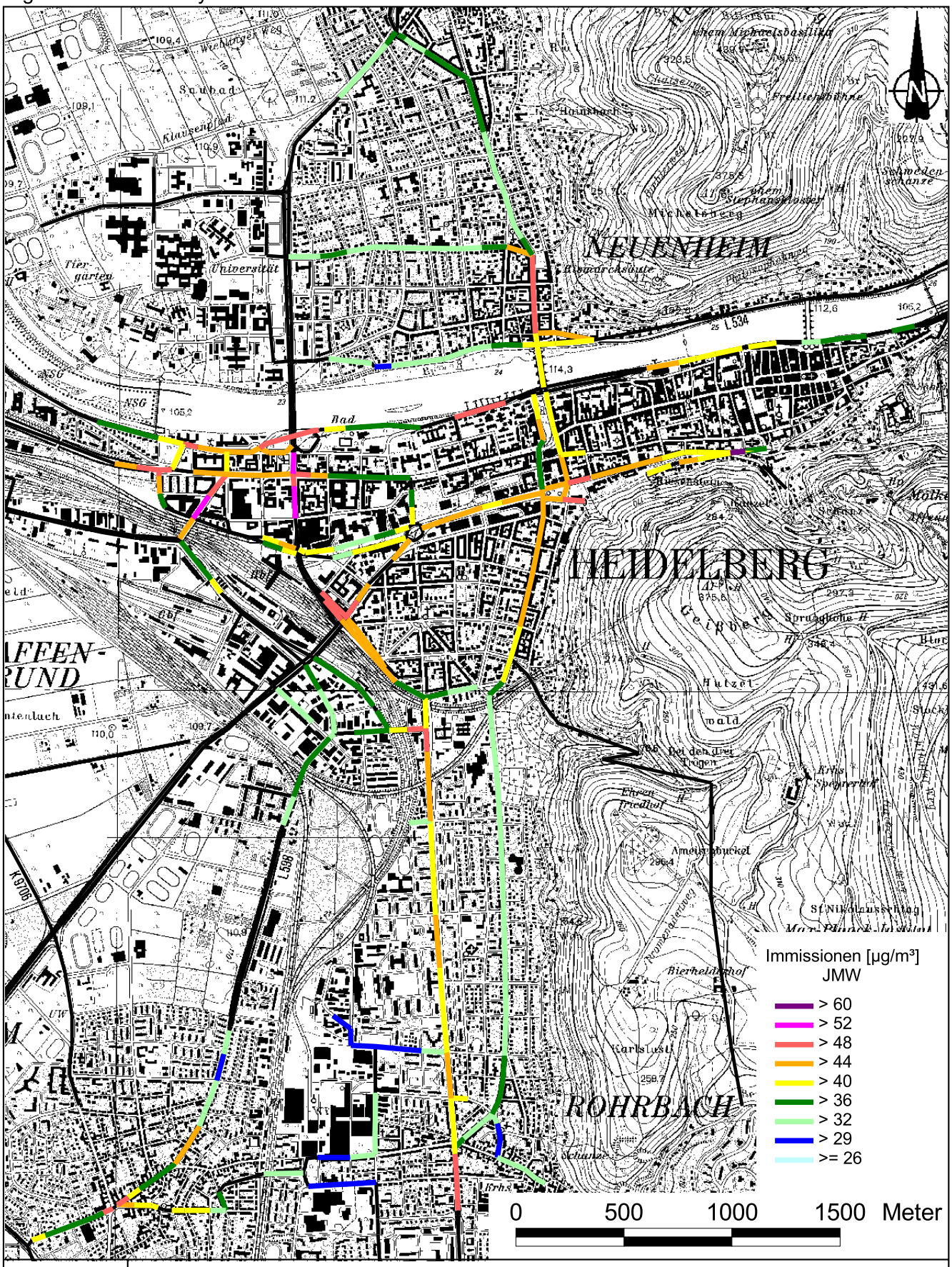


Abb. A2.1: NO2-Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte - JMW) im Untersuchungsgebiet für das bestehende Straßennetz im Jahr 2012 mit Umweltzone Stufe 1 (Referenzzustand)

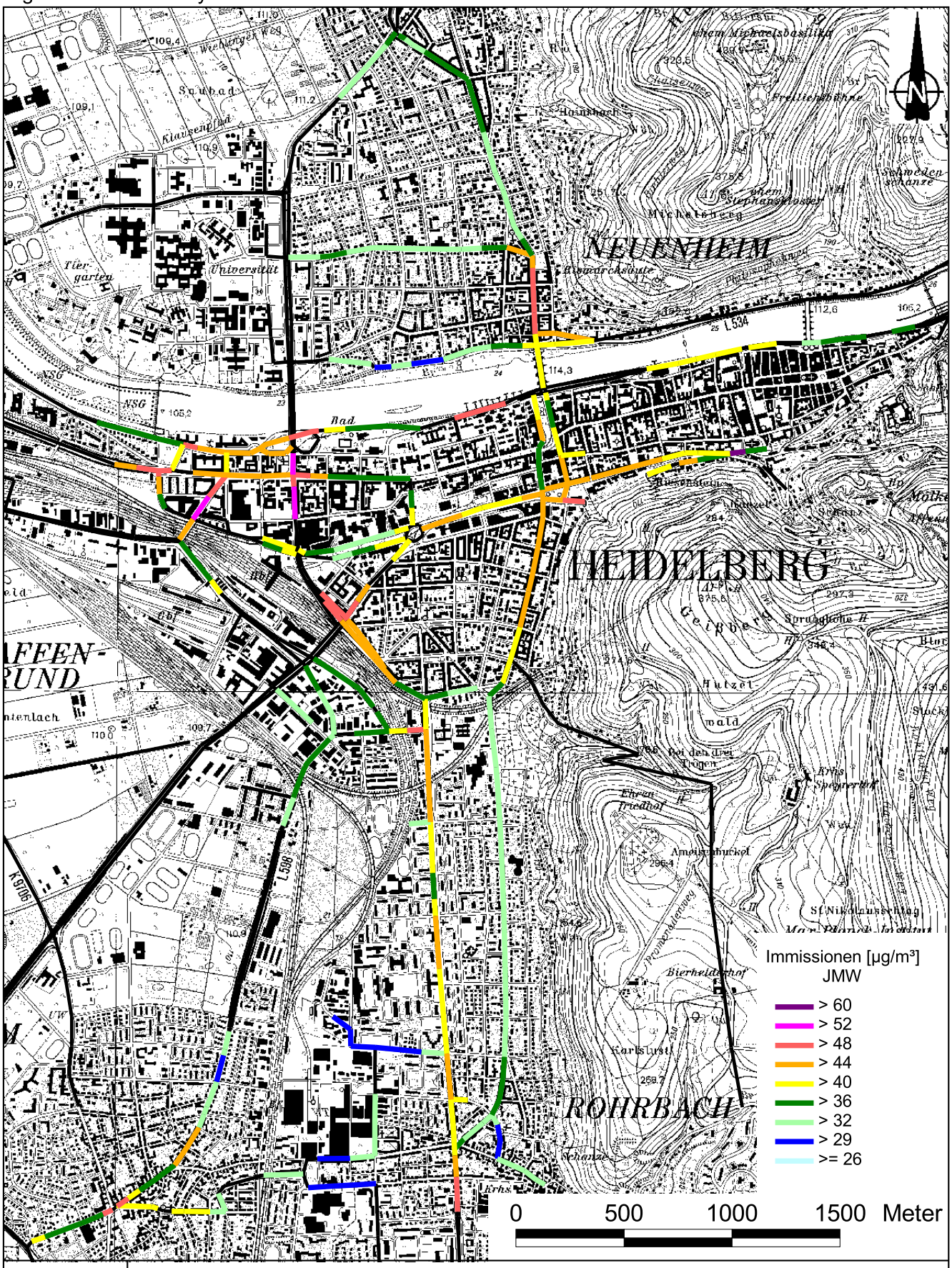


Abb. A2.2: NO2-Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte - JMW) im Untersuchungsgebiet für das bestehende Straßennetz im Jahr 2012 mit Umweltzone Stufe 2 (Maßnahme 2012 St2)

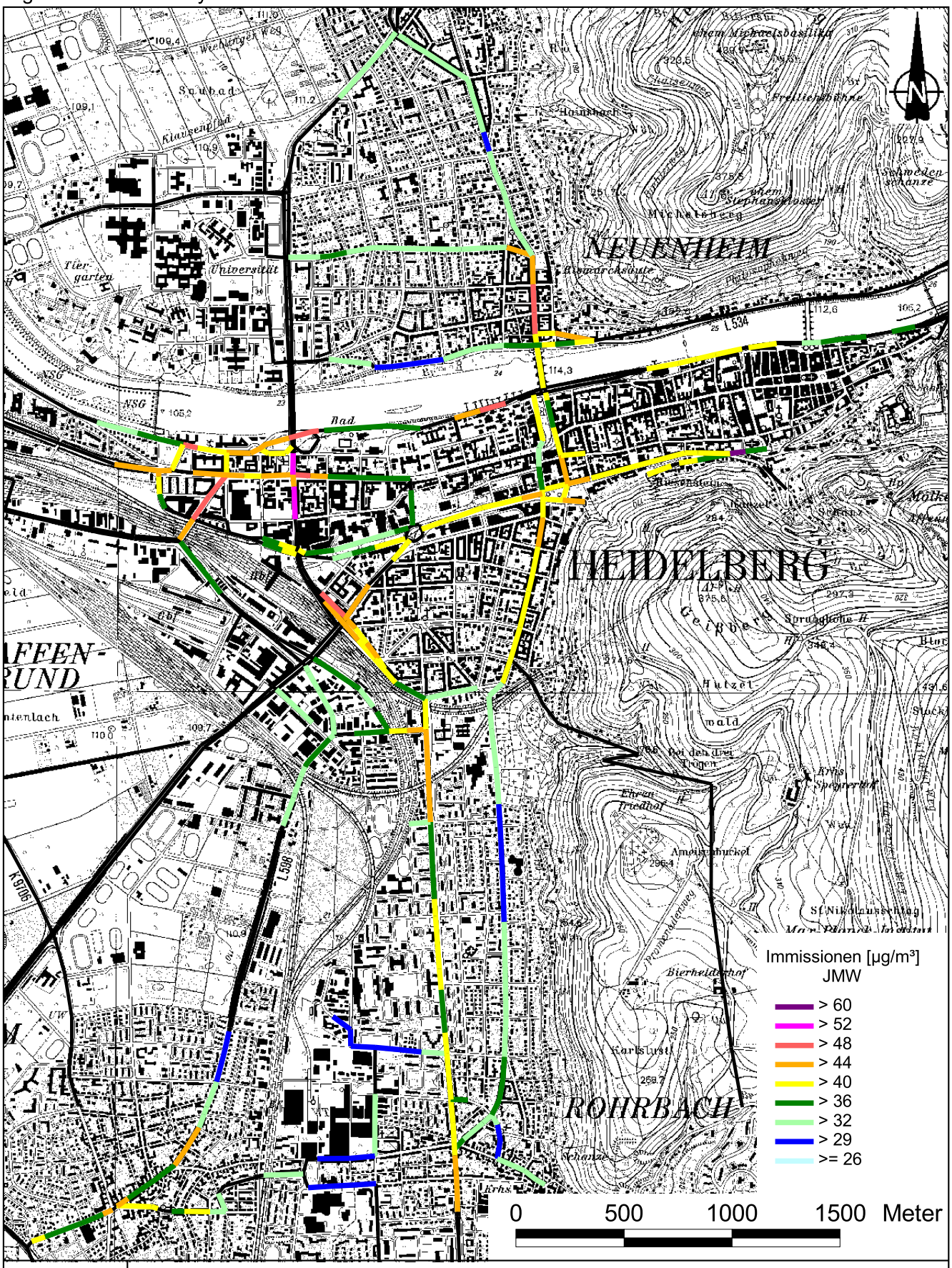


Abb. A2.3: NO2-Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte - JMW) im Untersuchungsgebiet für das bestehende Straßennetz im Jahr 2013 mit Umweltzone Stufe 2 (Maßnahme 2013 St2)

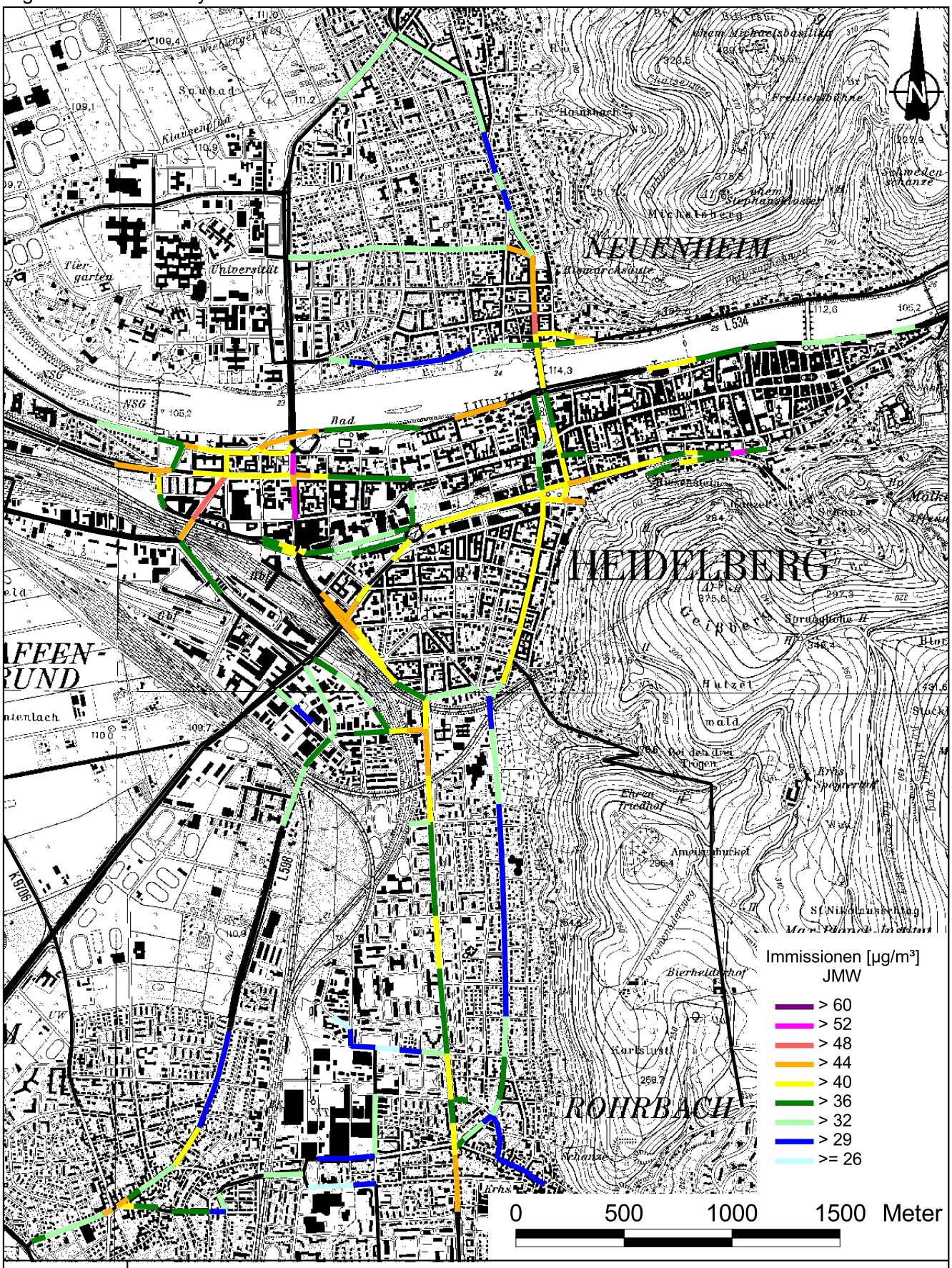


Abb. A2.4: NO2-Gesamtbelastung (Jahresmittelwerte - JMW) im Untersuchungsgebiet für das bestehende Straßennetz im Jahr 2013 mit Umweltzone Stufe 3 (Maßnahme 2013 St3)