



**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

Emissions-/ Immissionsgutachten

**ERGÄNZENDE MASSNAHME
ZUR FORTSCHREIBUNG DES
LUFTREINHALTE- UND AKTIONSPLANS
REUTLINGEN**

—

**ENTLASTUNG DURCH FAHRVERBOTE,
PROGNOSE 2012 UND 2013**

Auftraggeber: Regierungspräsidium Tübingen
Konrad-Adenauer-Straße 20
72072 Tübingen

Dipl.-Met. K. Lehner

Dipl.-Geogr. T. Nagel

Oktober 2010
Projekt 61689-10-01
Berichtsumfang 52 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN	1
1 ZUSAMMENFASSUNG	4
2 AUFGABENSTELLUNG	7
3 EINGANGSDATEN UND EMISSIONSFAKTOREN.....	9
3.1 Lagedaten.....	9
3.2 Verkehr	9
3.3 Fahrzeugflotte.....	11
Emissionsfaktoren	16
3.3.1 Motorbedingte Emissionsfaktoren	16
3.3.2 Nicht motorbedingte Emissionsfaktoren	17
3.3.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen	17
3.4 Meteorologische Daten.....	19
4 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN	22
4.1 Auswirkungen auf Emissionen der Straßenabschnitte.....	22
4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen.....	25
5 LITERATUR	32
A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION.....	36
A2 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSEN- NETZ REUTLINGEN.....	44

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

Hintergrundbelastung / Zusatzbelastung / Gesamtbelastung

Als Hintergrundbelastung werden im Folgenden die Immissionen bezeichnet, die bereits ohne die Emissionen des Straßenverkehrs auf den betrachteten Straßen an den Untersuchungspunkten vorliegen. Die Zusatzbelastung ist diejenige Immission, die ausschließlich vom Verkehr auf dem zu untersuchenden Straßennetz oder der zu untersuchenden Straße hervorgerufen wird. Die Gesamtbelastung ist die Summe aus Hintergrundbelastung und Zusatzbelastung und wird in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ oder mg/m^3 angegeben.

Grenzwerte / Vorsorgewerte

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

Jahresmittelwert / 98-Perzentilwert / Kurzzeitwert (Äquivalentwert)

An den betrachteten Untersuchungspunkten unterliegen die Konzentrationen der Luftschadstoffe in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen etc. ständigen Schwankungen. Die Immissionskenngrößen Jahresmittelwert, 98-Perzentilwert und weitere Kurzzeitwerte charakterisieren diese Konzentrationen. Der Jahresmittelwert stellt den über das Jahr gemittelten Konzentrationswert dar. Eine Einschränkung hinsichtlich Beurteilung der Luftqualität mit Hilfe des Jahresmittelwertes besteht darin, dass

er nichts über Zeiträume mit hohen Konzentrationen aussagt. Eine das ganze Jahr über konstante Konzentration kann zum gleichen Jahresmittelwert führen wie eine zum Beispiel tagsüber sehr hohe und nachts sehr niedrige Konzentration. Der Gesetzgeber hat deshalb zusätzlich zum Jahresmittelwert z.B. den so genannten 98-Perzentilwert (oder 98-Prozent-Wert) der Konzentrationen eingeführt. Das ist derjenige Konzentrationswert, der in 98 % der Zeit des Jahres unterschritten wird.

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

Verkehrssituation

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

Feinstaub / PM10 / PM2.5

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

Emissionsgrenzwerte für Partikel und NO_x mit Geltungsjahr

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

1 ZUSAMMENFASSUNG

Für die Stadt Reutlingen werden derzeit im Rahmen des Luftreinhalte- und Aktionsplans weitergehende Maßnahmen erarbeitet. Für folgende Maßnahmen wurden Berechnungen der zu erwartenden Minderungen der Immissionen im Rahmen der vorliegenden Untersuchung durchgeführt:

Referenzfall 2012 Umweltzone Stufe 1: Verkehrssituation im Jahr 2012 ohne weitere Maßnahmen (ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Reutlingen für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung seit 01.03.2008, d.h. Kraftfahrzeuge mit roter, gelber und grüner Plakette frei).

M1 Umweltzone Stufe 2: Ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Reutlingen für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung ab 01.01.2012, d.h. Kraftfahrzeuge mit gelber und grüner Plakette frei.

M2 Verkehrsverflüssigung mittels netzadaptiver Steuerung

Referenzfall 2013 Umweltzone Stufe 1: Verkehrssituation im Jahr 2013 ohne weitere Maßnahmen (ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Reutlingen (gesamtes Stadtgebiet) für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung seit 01.03.2008, d.h. Kraftfahrzeuge mit roter, gelber und grüner Plakette frei).

M3 Umweltzone Stufe 3: Ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Reutlingen für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1, 2 und 3 nach der Kennzeichnungsverordnung ab 01.01.2013, d.h. Kraftfahrzeuge mit grüner Plakette frei.

Für die Erarbeitung des Luftreinhalte- und Aktionsplans für Reutlingen lagen aus vorangegangenen Gutachten Verkehrsbelegungsdaten vor.

Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Reutlinger 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 NO₂ und PM10. Die Ergebnisse der Emissionen und Immissionen werden insbesondere für den Standort der verkehrsbezogenen Luftmessstationen in Reutlingen sowie für drei weitere Straßenabschnitte mit hohem Verkehrsaufkommen dargestellt.

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 der Luftmessstationen in Reutlingen gegenüber dem Referenzzustand 2012 mit der Maßnahme M1 im Jahr 2012 ca. 98%, mit der Maßnahmen M2 ca. 78% und mit der Maßnahme M3 im Jahr 2013 ca. 86% der NO_x-Emissionen zu erwarten. Alle genannten Maßnahmen tragen zur Minderung der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen bei, wobei an den Straßenabschnitten der Luftmessstationen durch die Verflüssigung des Verkehrs (M2) im Jahr 2012 die intensivsten Verringerungen zu erwarten sind.

Die PM10-Emissionen weisen auf dem Straßenabschnitt an der Luftmessstation gegenüber dem Referenzzustand 2012 mit der Maßnahme M1 ca. 97%, mit der Maßnahme M2 ca. 95% und mit der Maßnahme M3 im Jahr 2013 ca. 92% auf. Alle genannten Maßnahmen tragen zur Minderung der verkehrsbedingten Partikel-Emissionen bei, wobei an dem Straßenabschnitt der Luftmessstation durch die Maßnahme M3 Umweltzone Stufe 3 im Jahr 2013 die intensivsten Verringerungen 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 relativen Auswirkungen auf die Immissionen sind gegenüber den Emissionen geringer, da auch nicht verkehrsbedingte Beiträge in den Luftschadstoffbelastungen enthalten sind.

Die NO₂-Jahresmittelwerte weisen an den Luftmessstationen in der Lederstraße gegenüber dem Referenzzustand 2012 mit der Maßnahme M1 ca. 99%, mit der Maßnahme M2 ca. 88% - 89% und im Jahr 2013 mit der Maßnahme M3 ca. 91% - 92% auf. An der Luftmessstation sind durch die Verkehrsverflüssigung Maßnahme M2 im Jahr 2012 die intensivsten Verringerungen zu erwarten.

Die PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) weisen an dem Straßenabschnitt an den Luftmessstationen gegenüber dem Referenzzustand 2012 mit der Maßnahme M1 im Jahr 2012 ca. 99%, mit der Maßnahme M2 ca. 97% – 98% und mit der Maßnahme M3 im Jahr 2013 ca. 96% der Gesamtbelastungen des Jahres 2012 im Referenzfall auf. An der Luftmessstation sind durch die Maßnahme M3 im Jahr 2013 die intensivsten Verringerungen zu erwarten.

Für Feinstaub werden auch die Auswirkungen auf die Anzahl der Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ bezogen auf die Messdaten betrachtet. Im Referenzfall im Jahr 2012 ist in der Lederstraße (Ost) mit ca. 74 Überschreitungstagen zu rechnen, mit der Maßnahme M1 sind es ca. 72, mit der Maßnahme M2 sind es etwa 70 und mit der Maßnahmen M3 im Jahr 2013 ca. 67 Überschreitungstage im Jahr.

Ergänzend wurden die PM2.5-Immissionen (Jahresmittelwerte) betrachtet; an einem Straßenabschnitt an der Lederstraße wird der Beurteilungswert im Referenzzustand überschritten. Alle betrachteten Maßnahmen führen zu einer Verringerung der PM2.5 Immissionen, die auch eine Einhaltung der jeweiligen Beurteilungswerte bewirken.

Insgesamt ist aus den Ergebnissen der Berechnungen zu schließen, dass mit der durch die verschärfte Umweltzone vorgezogenen Erneuerungen der Kfz-Fahrzeugflotte deutliche Verringerungen der motorbedingten Schadstofffreisetzungen verbunden sind, die auch zu deutlichen Verringerungen der NO₂- Belastungen führen. Die Verflüssigung des Verkehrs führt an den entsprechenden Straßenabschnitten zu deutlich verringerten Immissionen. 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, wobei diese nicht an allen Straßenabschnitten zu einer Einhaltung der Grenzwerte führen.

2 AUFGABENSTELLUNG

Für die Stadt Reutlingen besteht seit Dezember 2005 ein in der Endfassung vorliegender Luftreinhalte- und Aktionsplans, für den derzeit weitere Maßnahmen entwickelt werden. Diese Maßnahmen beziehen sich auf den Kfz-Verkehr und sollen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Emissionen und Immissionen betrachtet werden. Betrachtet werden die Schadstoffe NO₂, PM10.

Folgende Maßnahmen werden betrachtet:

Referenzfall 2012 Umweltzone Stufe 1: Verkehrssituation im Jahr 2012 ohne weitere Maßnahmen (ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Reutlingen für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung seit 01.03.2008, d.h. Kraftfahrzeuge mit roter, gelber und grüner Plakette frei).

M1 Umweltzone Stufe 2: Ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Reutlingen für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 und 2 nach der Kennzeichnungsverordnung ab 01.01.2012, d.h. Kraftfahrzeuge mit gelber und grüner Plakette frei.

M2 Verkehrsverflüssigung mittels netzadaptiver Steuerung

Referenzfall 2013 Umweltzone Stufe 1: Verkehrssituation im Jahr 2013 ohne weitere Maßnahmen (ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Reutlingen (gesamtes Stadtgebiet) für Kraftfahrzeuge der Schadstoffgruppe 1 nach der Kennzeichnungsverordnung seit 01.03.2008, d.h. Kraftfahrzeuge mit roter, gelber und grüner Plakette frei).

M3 Umweltzone Stufe 3: Ganzjähriges Fahrverbot in der Umweltzone Reutlingen 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 Reutlingen die derzeitige Regelung mit Umweltzone Stufe 1 (d.h. Kraftfahrzeuge mit roter, gelber und grüner Plakette frei) angesetzt.

Für den Standort der verkehrsbezogenen Messstation in Reutlingen sowie das Hauptverkehrsstraßennetz 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.

Im Februar 2010 wurde das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs -HBEFA-, Version 3.1 veröffentlicht. Damit stellt die Datenbasis des HBEFA, Version 3.1 die aktuelle 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 Baden-Württemberg wurden auf der Grundlage der gemeldeten Kfz auch für die hier zu betrachtenden Jahre 2012 und 2013 die dynamischen Flottenzusammensetzungen prognostiziert (Aviso, 2009) und zur Verfügung gestellt.

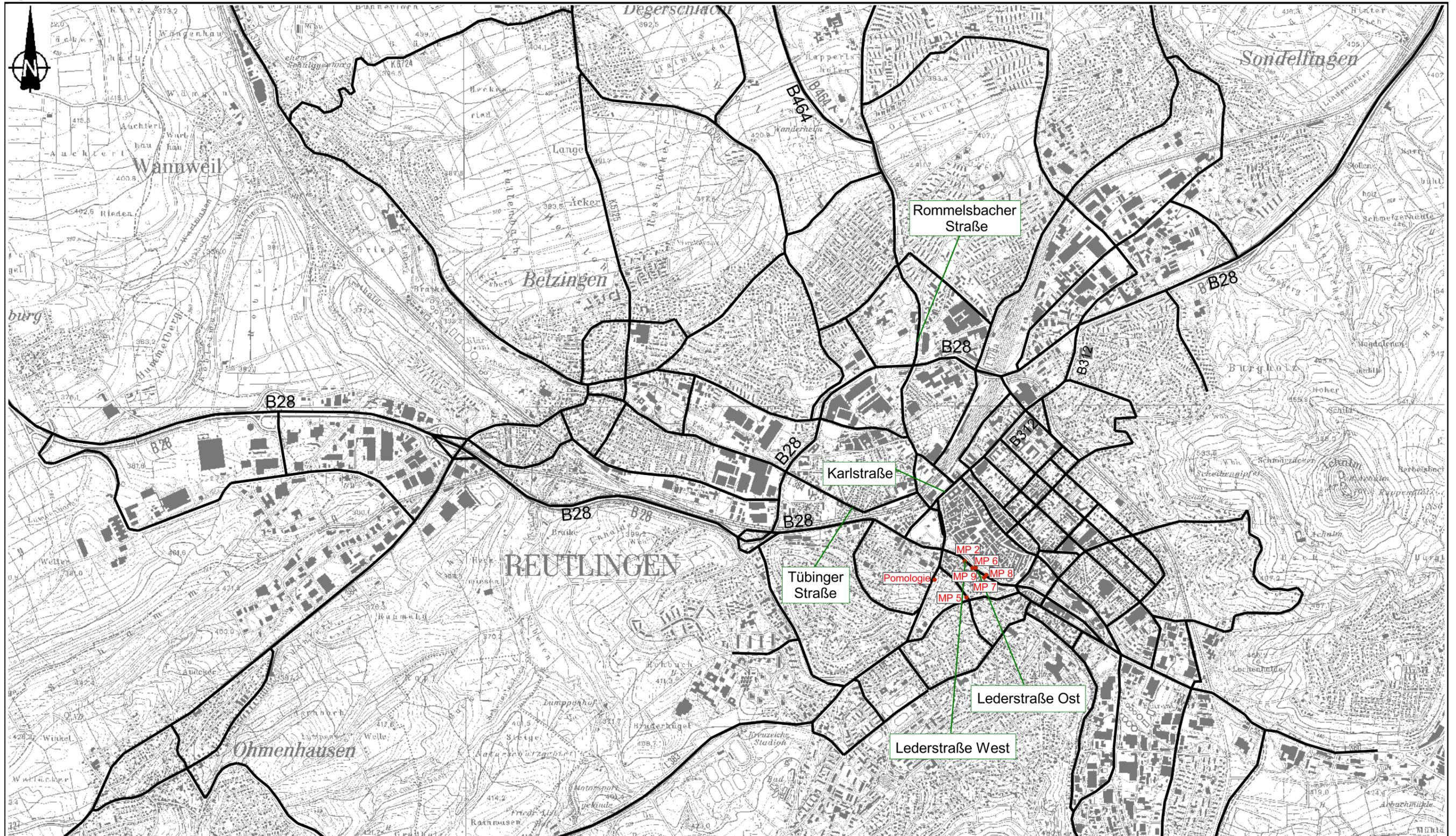
Für das verkehrsbedingte Feinstaubaufkommen sind neben den „motorbedingten“ Emissionen auch „nicht motorbedingte“ (Reifenabrieb, Staubaufwirbelung etc.) Beiträge zu berücksichtigen. Dies basiert auf aktuellen Angaben der Fachliteratur und auf Datenbanken.

3.1 Lagedaten

Die Stadt Reutlingen liegt südlich von Stuttgart und östlich von Tübingen am Rand der Schwäbischen Alb. Das Stadtzentrum befindet sich im Echaztal, das in dem Bereich im Bogen von Süden nach Westen verläuft. Die B 312 verläuft in nordsüdlicher Richtung und die B 28 in ostwestlicher Richtung durch das Stadtgebiet. Nach Norden führt die B 464 von Reutlingen aus Richtung Stuttgart. Die Lage des Betrachtungsgebietes um Reutlingen ist in **Abb. 3.1** aufgezeigt. Dort ist die Lage der Messstationen in Reutlingen mit roten Punkten gekennzeichnet.

3.2 Verkehr

Aus vorangegangenen Arbeiten (Lohmeyer, 2005) stehen Verkehrsdaten in Form von Übersichtslageplänen für Kfz (Prognose 2020 ohne verkehrliche Änderungen) sowie für den LKW-Verkehr als Zählraten der Jahre 2001-2005 von der Stadt Reutlingen an Knotenpunkten zur Verfügung. Diese wurden anhand der Daten der Straßenverkehrszählung 2005 aktualisiert. In Absprache mit dem Auftraggeber wurde aus diesen Daten die durchschnittlich



0 1000 2000 Meter



Abb. 3.1: Lageplan des Untersuchungsgebietes.
Messstellen sind als rote Punkte eingezeichnet.

tägliche Verkehrsstärke (DTV) und der LKW-Anteil auf den zu berücksichtigen Straßen ermittelt und für die Bezugsjahre 2012 und 2013 angesetzt.

Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahmen werden diese Daten für alle Maßnahmenfälle angesetzt. Die Verkehrsdaten sind als Übersichtsdarstellung in **Abb. 3.2** dargestellt.

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. 3.3** 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.

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 in den Jahren 2012 und 2013 ca. 96%; bei den Bussen und schweren Nutzfahrzeugen setzen sich die Fahrten ausschließlich aus Dieselbetriebenen zusammen.

Für die Maßnahmen M1 (Stufe 2) und M3 (Stufe 3) sowie für den Referenzzustand (Stufe 1) werden die in der Datengrundlage beschriebenen Zusammensetzungen der Fahrzeugflotten verändert, indem die vom Fahrverbot betroffenen Fahrzeugarten aus der Fahrzeugflotte ausgeschlossen werden, unter Berücksichtigung, dass ein Anteil von 20% dieser Fahrten aufgrund von Ausnahmegenehmigungen dennoch erfolgt. In **Abb. 3.4** sind die prozentualen Anteile der innerörtlichen Fahrten aufgezeigt, die von dem Fahrverbot betroffen sind.

Von den PKW-Fahrten sind im Jahr 2012 im Referenzfall mit der Umweltzone Stufe 1 ca. 2% der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 3% der Lieferwagenfahrten und ca. 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 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

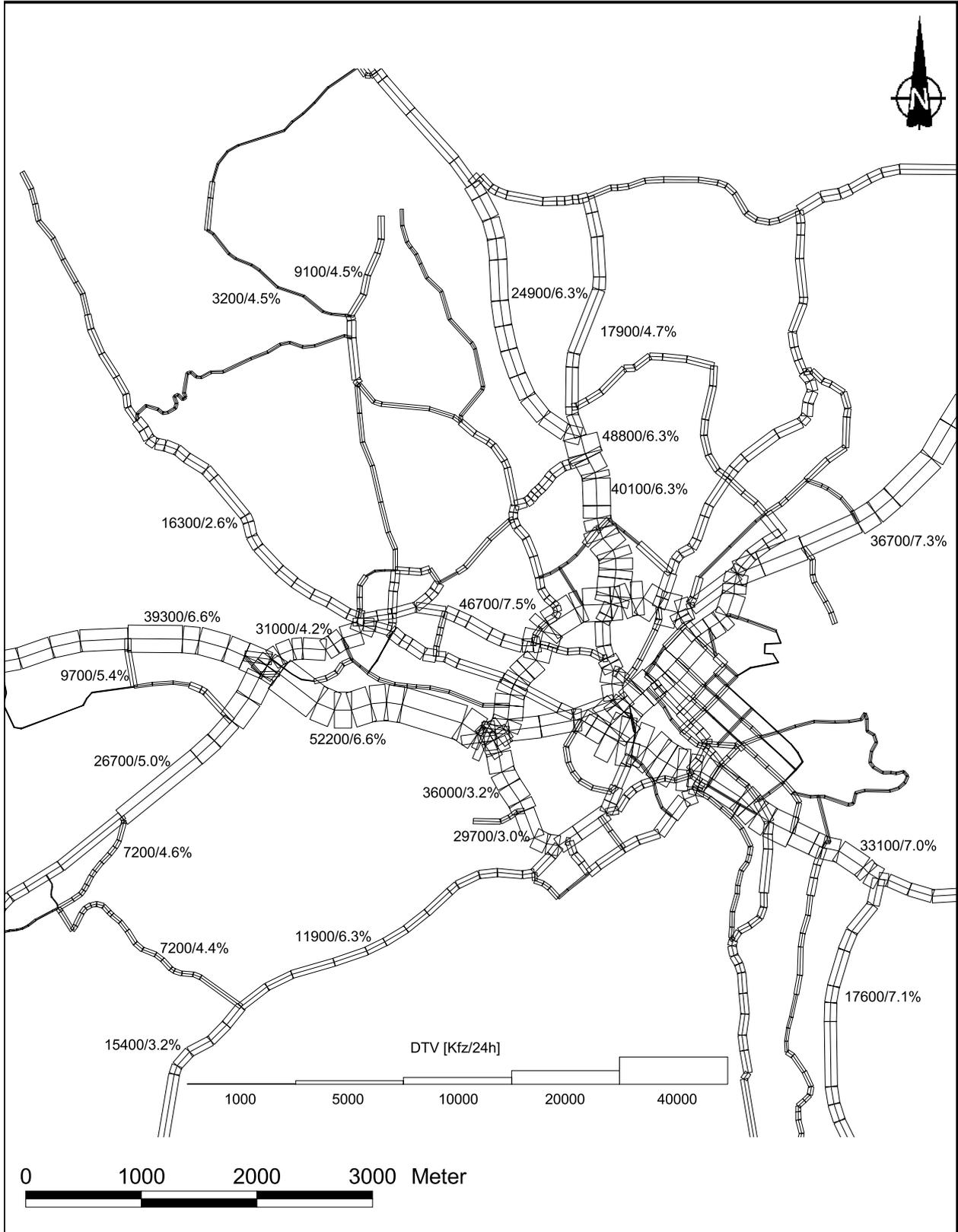


Abb. 3.2: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke in [Kfz/24h] und LKW-Anteil in [%] auf dem Straßennetz im Untersuchungsgebiet

Dynamische Fahrzeugflotte innerorts

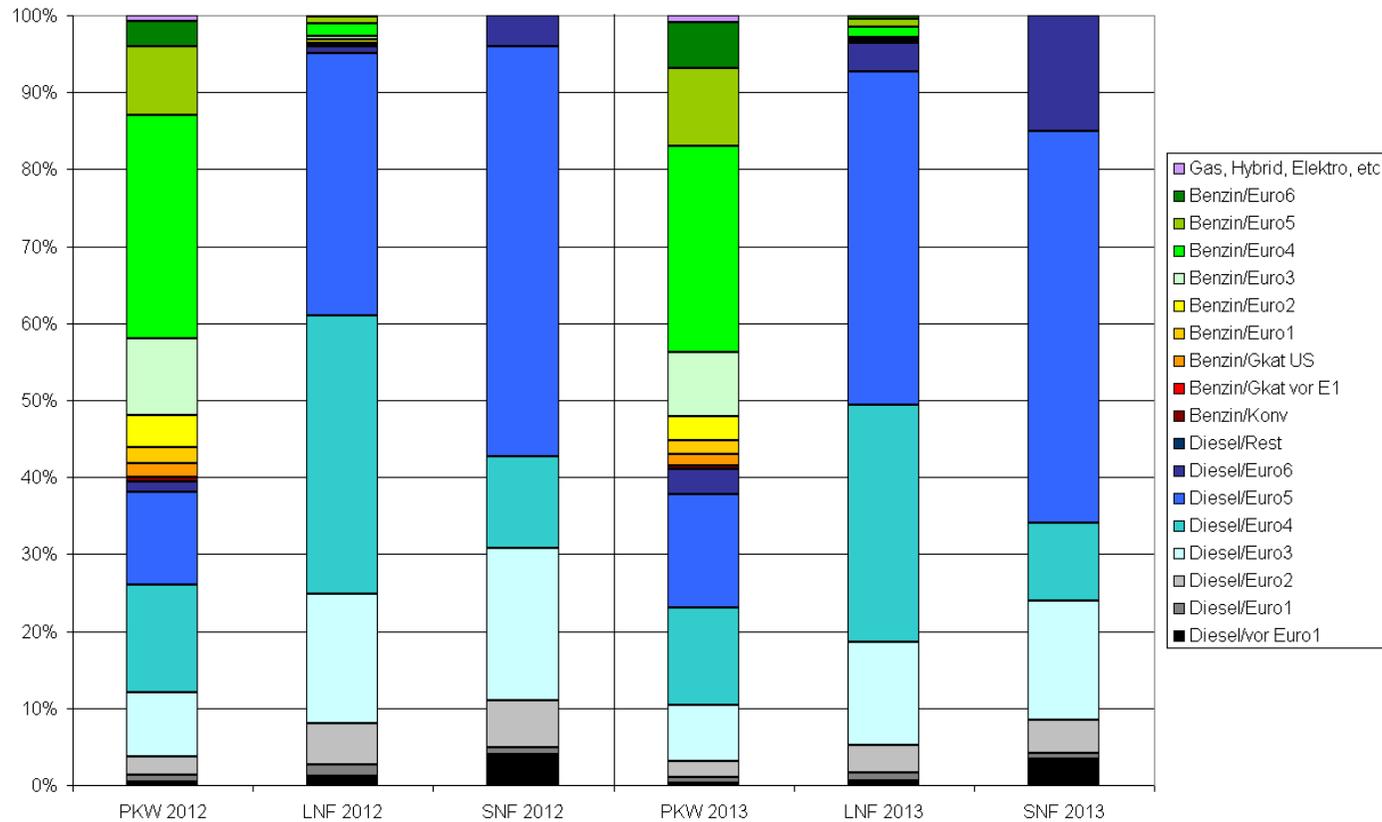


Abb. 3.3: Zusammensetzung der innerörtlichen dynamischen Kfz-Flotte für die Jahre 2012 und 2013 für Baden-Württemberg, unterteilt nach PKW, leichte Nutzfahrzeuge (LNF), Reisebusse, Linienbusse und schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

Anteil der von Maßnahmen betroffenen Fahrten

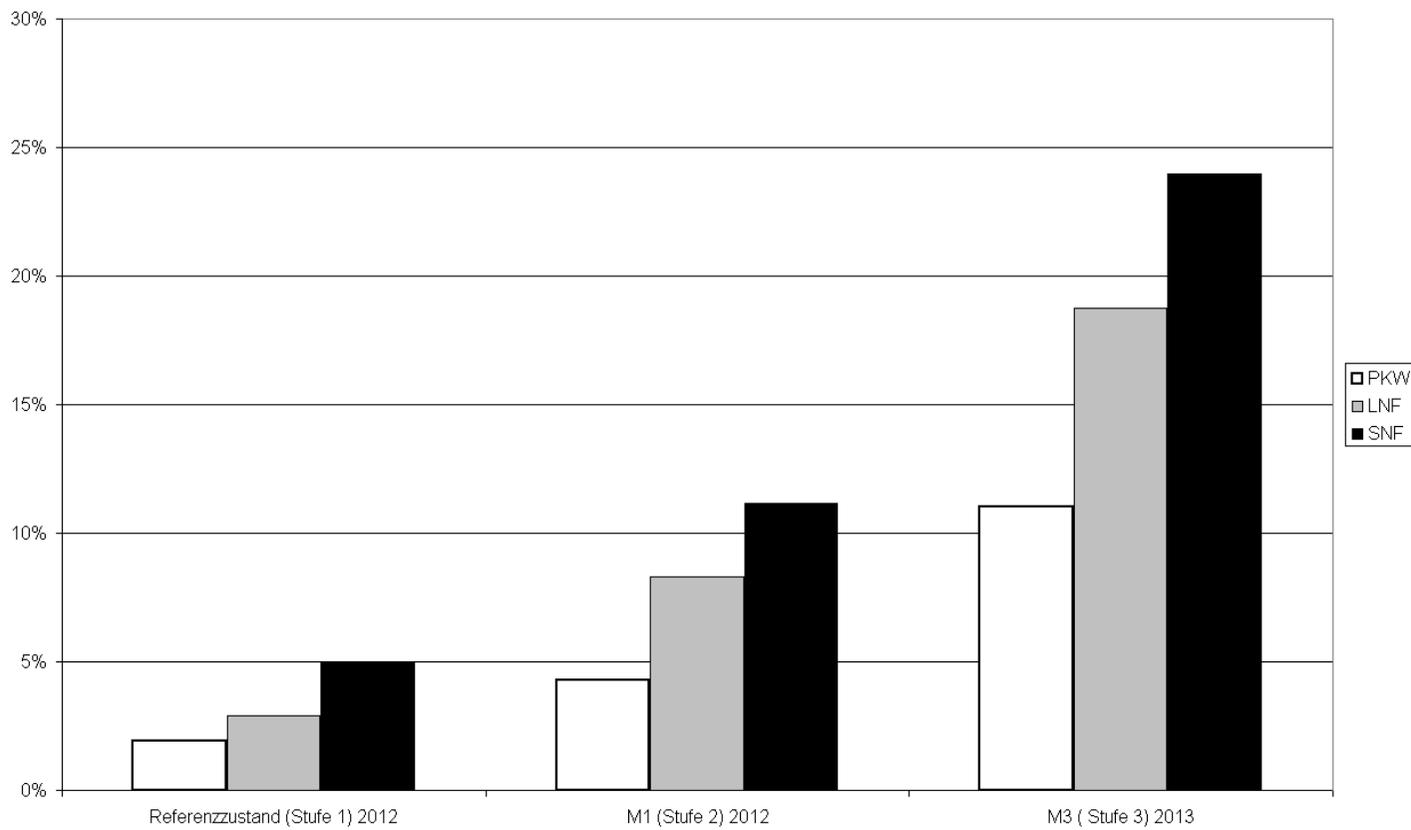


Abb. 3.4: Anteil der von den Fahrverboten des Referenzzustandes und der Maßnahmen M1 (Stufe 2) und M3 (Stufe 3) betroffenen Fahrten getrennt für PKW, Lieferwagen (LNF) und LKW

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 M1, Umweltzone Stufe 2 ca. 4% der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 8% der Lieferwagenfahrten und ca. 11% der LKW-Fahrten betroffen. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme wird 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 im Jahr 2013 durch die Maßnahme M3, Umweltzone Stufe 3 ca. 11% der Fahrten vom Fahrverbot betroffen. Der Wirtschaftsverkehr wird überwiegend mit dieselbetriebenen Kfz durchgeführt; durch das Fahrverbot sind ca. 19% der Lieferwagenfahrten und ca. 24% der LKW-Fahrten betroffen. Für die rechnerische Umsetzung der Maßnahme wird auch hier berücksichtigt, dass im Wirtschaftsverkehr nur notwendige Fahrten durchgeführt werden und deshalb eine vollständige Verlagerung der Fahrten ohne Ausnahmegenehmigungen auf Fahrzeuge erfolgt, die nicht vom Fahrverbot betroffen sind. Damit ist eine Änderung der Zusammensetzung der Fahrzeugflotte des Wirtschaftsverkehrs verbunden. Diese Annahme wurde auch auf den PKW-Verkehr übertragen und ebenfalls rechnerisch eine Änderung der Fahrzeugflotte durchgeführt.

Aus der statischen Flotte, die den Bestand der Fahrzeuge einer Region angibt, kann der Anteil an von Fahrverboten betroffenen Fahrzeugen ermittelt werden. Die Zusammensetzungen der statischen Fahrzeugflotten, sind für Baden-Württemberg (Aviso, 2009) für die zu betrachtenden Bezugsjahre 2012 und 2013 entnommen. Daraus lässt sich ableiten, dass im Jahr 2012 durch die Maßnahme M1 ca. 5% der PKW, ca. 16% der Lieferwagen und ca. 24% der LKW betroffen sind. Im Jahr 2013 sind durch die Maßnahme M3 etwa 12% der PKW, ca. 32% der Lieferwagen und ca. 41% der LKW betroffen.

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, Sattel-schlepper, Busse usw.

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

Im Folgenden werden die Grundlagen der „motorbedingten“ und „nicht motorbedingten“ Emissionsfaktoren beschrieben, dann erfolgt die Anwendung für Reutlingen 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 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 Längsneigung der Straßen wurde aus dem digitalen Geländemodell abgeleitet.

3.3.2 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, 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. 3.1** und **Tab. 3.2** exemplarisch für die innerstädtischen Verkehrssituationen an den verkehrsnahen Messstellen in Reutlingen aufgeführten Emissionsfaktoren verwendet.

Die Bildung von so genannten sekundären Partikeln wird mit der angesetzten Hintergrundbelastung berücksichtigt, soweit dieser Prozess in großen Entfernungen (10 km bis 50 km) von den Schadstoffquellen relevant wird. Für die kleineren Entfernungen sind die sekundären Partikel in den aus Immissionsmessungen abgeleiteten nicht motorbedingten Emissionsfaktoren enthalten.

3.3.3 Emissionsfaktoren mit möglichen technischen Minderungen

Für die den Referenzfall im Jahr 2012 mit Umweltzone Stufe 1 und für die Maßnahmen M1 Umweltzone Stufe 2 und M3 Umweltzone Stufe 3 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 anteilmäßig auf die restlichen Fahrten entsprechend der bestehenden

Verteilung auf die Fahrzeugkonzepte verteilt. Damit wird die Fahrzeugflotte erneuert; durch die anteilmäßige Aufteilung entsprechend der vorliegenden Verteilung wird berücksichtigt, dass auch gebrauchte Fahrzeuge die entfallenen ersetzen, also nicht immer die neueste verfügbare Technik eingesetzt wird.

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

Für die Maßnahme M2 mit wird eine Verkehrsverflüssigung auf der Lederstraße und auf der Karlstraße durch eine optimierte Schaltung der Lichtsignalanlagen angenommen. An querenden Straßen wird davon ausgegangen, dass sich der Verkehrsfluss nicht wesentlich ändert. Das aktuelle HBEFA 3.1 gibt für innerörtlichen Fahrmuster verschiedene Verkehrssituationseinstufungen (Level of Service) mit entsprechenden Standanteilen, und mittleren Durchschnittsgeschwindigkeiten und damit verbundenen unterschiedliche Emissionsfaktoren an. Die Verkehrsverflüssigung wird durch eine günstigere Einschätzung des „Level of Service“ umgesetzt.

Die an den verkehrsnahen Messstellen in der Lederstraße in Reutlingen angesetzten Verkehrssituationen sind in **Tab. 3.1** und **Tab. 3.2** aufgeführt, klassifiziert wie im HBEFA (UBA, 2010) für Längsneigungsklassen in 2 %-Stufen. Mit diesen Tabellen ist ein Überblick über die zu diesen Verkehrssituationen gehörenden Emissionsfaktoren in den zu betrachtenden Bezugsjahren gegeben. In der Lederstraße werden folgende Verkehrssituationen herangezogen:

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

IO-HVS50g: Innerörtliche Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, gesättigter Verkehr

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2012					
	NO _x		PM10 (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
S1-IO-HVS50g	0.416	5.925	0.04	0.38	0.012	0.091
S1-V-IO-HVS50d	0.303	5.067	0.04	0.38	0.009	0.068
S2-IO-HVS50g	0.412	5.794	0.04	0.38	0.010	0.086

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 für den Referenzfall Umweltzone Stufe 1, die Maßnahme M1 Umweltzone Stufe 2 (S2) und die Maßnahme M2 mit verflüssigtem Verkehr (V).

Verkehrssituation (Kürzel)	Spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] für das Bezugsjahr 2013					
	NO _x		PM10 (nur Abrieb und Aufwirb.)		Partikel (nur Abgas)	
	PKW	LKW	PKW	LKW	PKW	LKW
S1-IO-HVS50g	0.403	5.366	0.04	0.38	0.011	0.077
S3-IO-HVS50g	0.355	5.138	0.02	0.38	0.007	0.062

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 mit Umweltzone Stufe 1 und für die Maßnahme M3 Umweltzone Stufe 3.

3.4 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.

Windmessdaten werden in der Stadt Reutlingen von der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) an der Luftmessstation Nr. 4470 auf der Pomologie in ca. 8 m über Grund kontinuierlich erhoben. Der Standort befindet sich ca. 250 m südlich der Lederstraße. In **Abb. 3.5** ist die Häufigkeitsverteilungen von Windrichtung und Windgeschwindigkeit an der Station Reutlingen/Pomologie für die Jahre 2000-2004 dargestellt. Ausgeprägt sind die Hauptmaxima aus West und Südost, die jeweils einen breiten Sektor aufspannen. Ein weiteres Nebenmaximum liegt bei nördlichen Windrichtungen. Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt mit jeweils 1.5 m/s im erwarteten Bereich für eine innerstädtische Station.

Im Auftrag der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) wurden synthetische Windrosen im 500 m Raster für Baden-Württemberg berechnet und im Internet veröffentlicht (LUBW, Internet). Darin ist auch der Bereich von Reutlingen enthalten, für den Windstatistiken vorliegen. Im Vergleich mit den synthetischen Windrosen in Reutlingen zeigt die Windrose der Pomologie eine ähnliche Verteilung.

Für die Immissionsberechnungen werden die Daten der Station Reutlingen-Pomologie verwendet. Die Ausbreitungsklassen wurden anhand der aus den Bewölkungsangaben der Wetterstation Stuttgart-Schnarrenberg abgeleiteten Häufigkeitsverteilung mit dem Verfahren nach Kolb (1976) auf den Standort Reutlingen übertragen und unter Berücksichtigung der Rauigkeit in Reutlingen für die Ausbreitungsrechnung herangezogen.

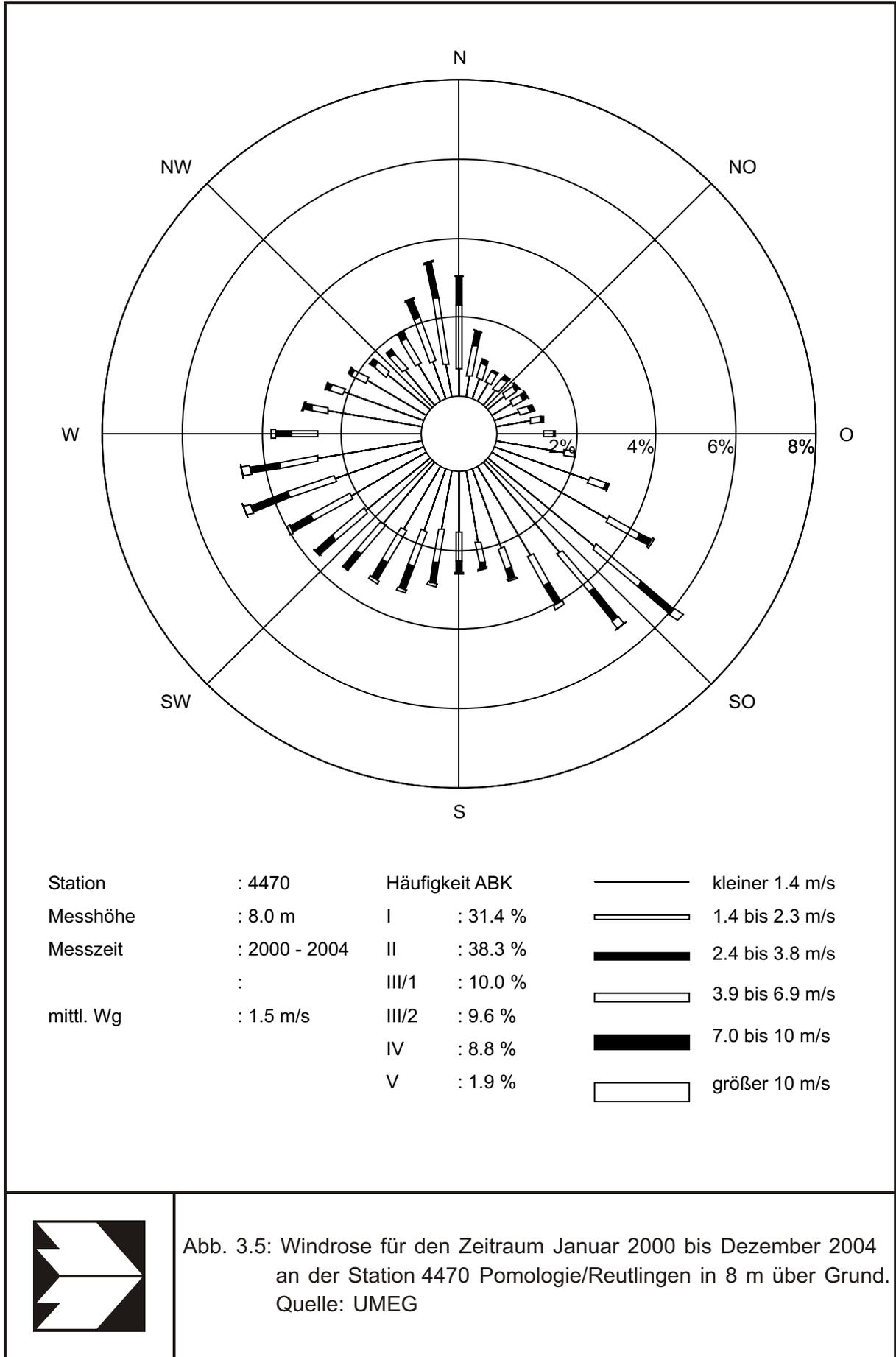


Abb. 3.5: Windrose für den Zeitraum Januar 2000 bis Dezember 2004 an der Station 4470 Pomologie/Reutlingen in 8 m über Grund. Quelle: UMEG

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 Reutlingen berechnet. Die Darstellung der Berechnungsergebnisse konzentriert sich im Folgenden auf die Lederstraße im Bereich der Messstellen, die Karlstraße zwischen dem Willi-Brandt-Platz und unter den Linden, die Rommelsbacher Straße zwischen der Mitnachtstraße und der Föhrstraße und auf die Tübinger Straße zwischen der Marienstraße und der Fizionstraße.

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

Entsprechend den Zusammensetzungen der Verkehrsbelegungsdaten und der Verkehrssituationen zeigen sich bei den betrachteten Fällen deutliche Variationen der NO_x-Emissionen (**Abb. 4.1**). Die relativen Änderungen bezogen auf den Ausgangszustand weisen Variationen bis etwa 20% auf. In den betrachteten Straßenabschnitten der Lederstraße, der Karlstraße, der Rommelsbacher Straße und an der Tübinger Straße sind gegenüber dem Referenzzustand 2012 mit der Maßnahme M1 Umweltzone Stufe 2 ca. 98% der NO_x-Emissionen zu erwarten. Mit der Maßnahme M2 sind an den Straßenabschnitten der Lederstraße und der Karlstraße an denen eine Verkehrsverflüssigung angenommen wird, 80% der NO_x-Emissionen zu erwarten, an der Rommelsbacher Straße und an der Tübinger Straße sind keine Änderungen mit der Maßnahme M2 prognostiziert. Im Jahr 2013 sind ohne weitere Maßnahmen gegenüber dem Referenzzustand etwa 94% und mit der Maßnahme M3, Umweltzone Stufe 3, im Jahr 2013 etwa 86% der NO_x-Emissionen zu erwarten. Alle genannten Maßnahmen tragen zur Minderung der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen bei, wobei durch die Verkehrsverflüssigung an den entsprechenden Straßen die intensivsten Verringerungen zu erwarten sind.

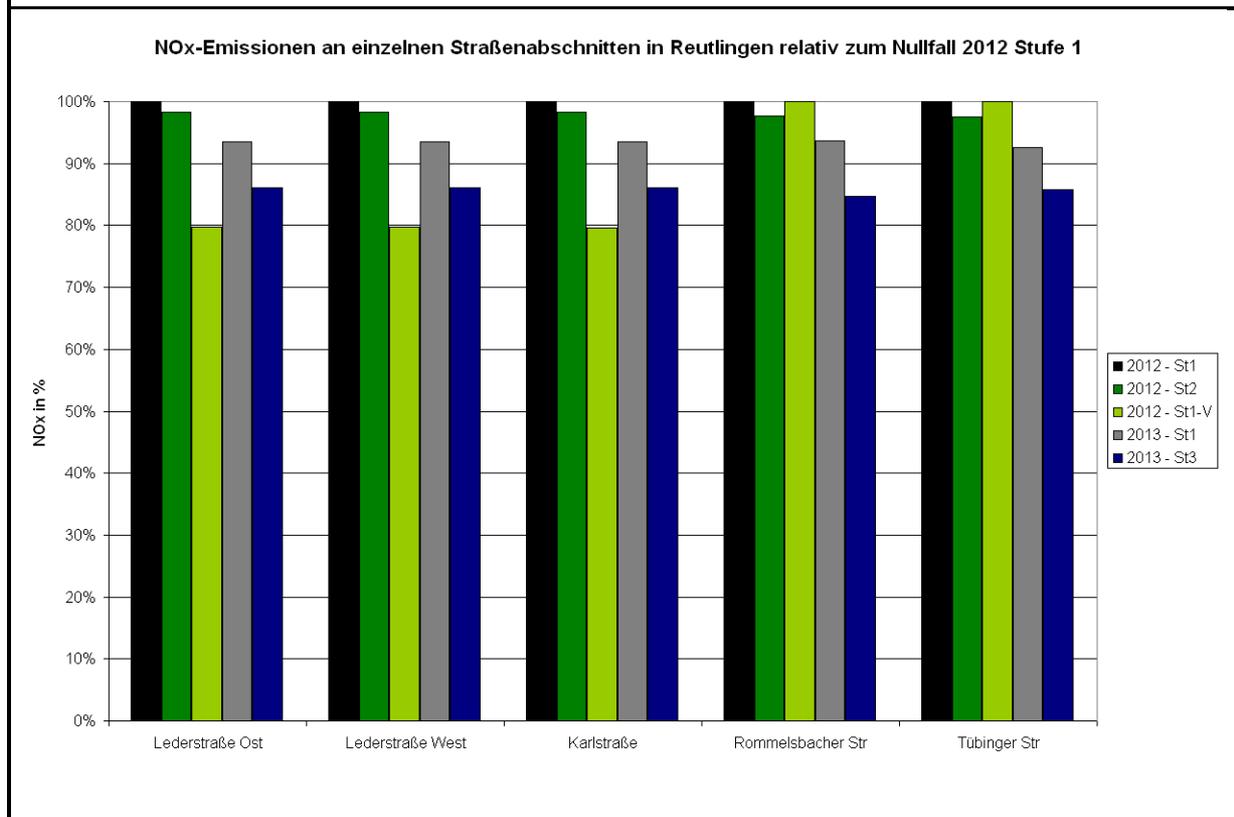
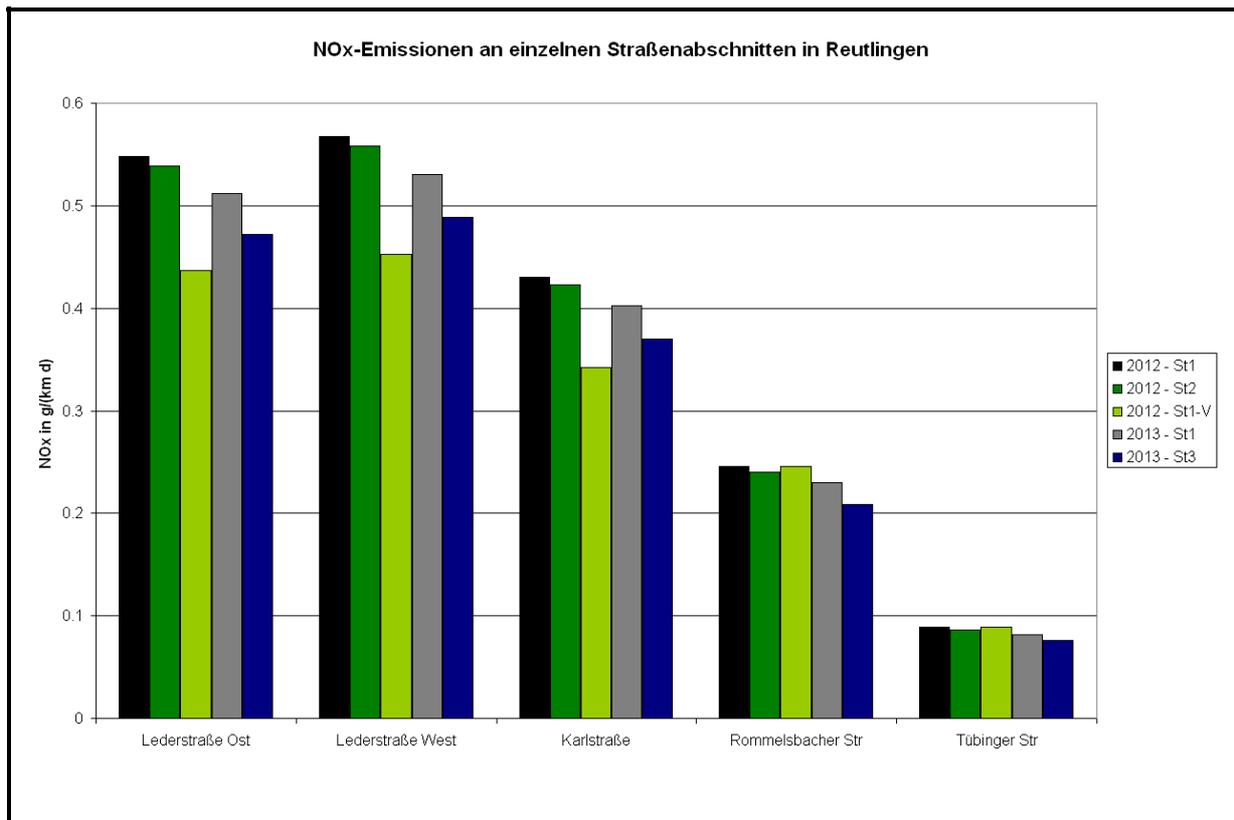


Abb. 4.1: NO_x - Emissionen an einzelnen Straßenabschnitten für die betrachteten Maßnahmen und Fälle.
 oben: Emission in [g/(km d)],
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2012 Stufe 1 in %

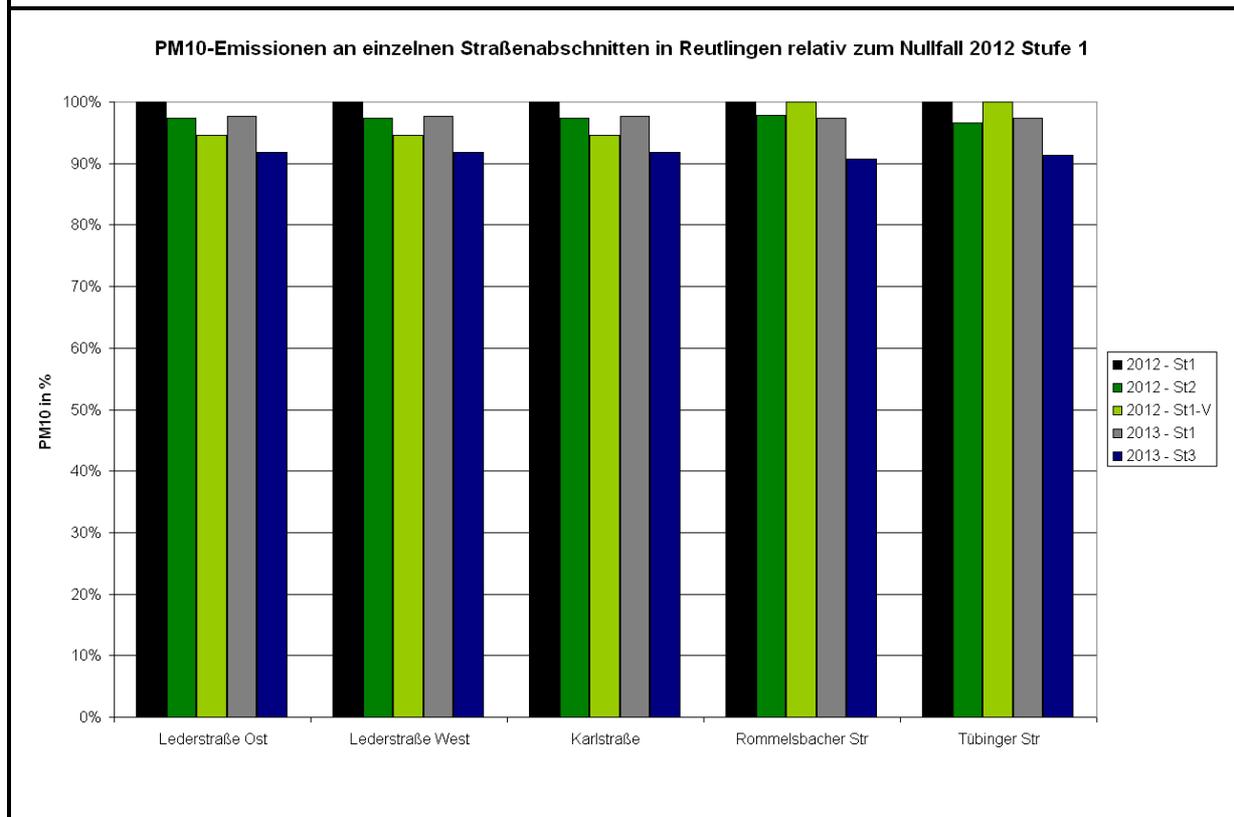
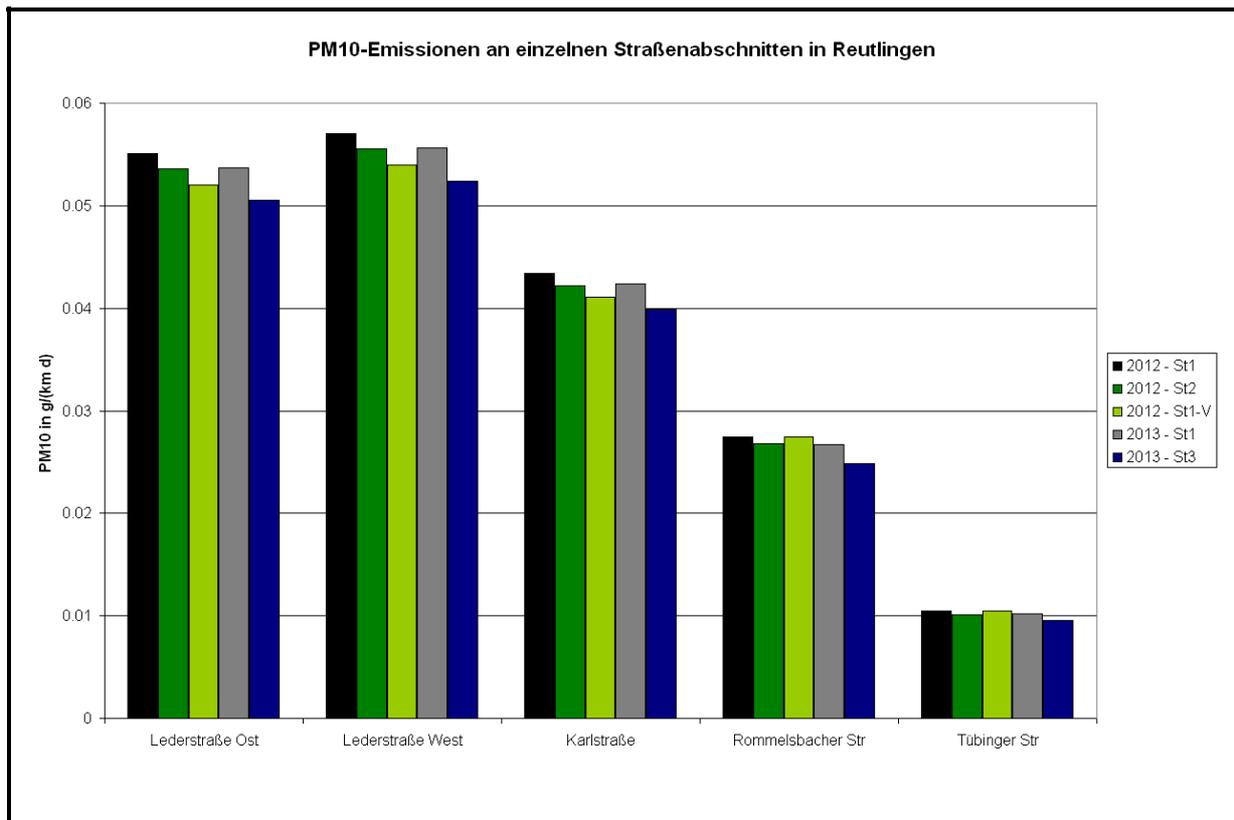


Abb. 4.2: PM10 - Emissionen an einzelnen Straßenabschnitten für die betrachteten Maßnahmen und Fälle.
 oben: Emission in [g/(km d)],
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2012 Stufe 1 in %

Die PM10-Emissionen weisen in den betrachteten Straßenabschnitten gegenüber dem Referenzzustand 2012 mit der Maßnahme M1 Umweltzone Stufe 2 ca. 97%, mit der Maßnahme M2 an den Straßenabschnitten mit Verkehrsverflüssigung (Lederstraße und Karlstraße) ca. 95% und an den Straßenabschnitten der Tübinger Straße und der Rommelsbacher Straße 100%, im Jahr 2013 ohne weitere Maßnahmen etwa 97-98% und mit der Maßnahme M3 Umweltzone Stufe 3 ca. 91-92% der PM10-Emissionen auf. Alle genannten Maßnahmen tragen zur Minderung der verkehrsbedingten Partikel-Emissionen bei, wobei im Jahr 2013 mit der Maßnahme M3 Umweltzone Stufe 3 die intensivsten Verringerungen zu erwarten sind.

Bei den Feinstaub-Emissionen (PM10) 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.

4.2 Auswirkungen auf Immissionen an den Hauptverkehrsstraßen

Seit Dezember 2004 werden in Reutlingen an der Lederstraße so genannte Spot-Messungen durch die LUBW durchgeführt. Neben den Messdaten an der Referenzmessstelle in der Lederstraße wurden in den Jahren 2005 und 2006 an vier weiteren Messstellen (MP6 – MP9) in der Lederstraße östlich der Referenzmessstelle und an einer weiteren Messstelle in der Friedrich Ebert-Straße (MP5) die NO₂-Immissionen erfasst. Alle Messstellen in der Lederstraße befinden sich praktisch direkt am Straßenrand bzw. in der Straßenmitte und an der Randbebauung. Die Messstation an der Friedrich-Ebert-Straße (MP5) befindet sich ebenfalls am Straßenrand, in bebautem Gebiet an einer Straße mit geringem Verkehrsaufkommen. Sie wird als Hintergrundmessstation angegeben. Seit 2007 werden nur noch Messungen am Messpunkt MP9 und MP5 die Immissionen erfasst. **Tab. 4.1** zeigt eine Zusammenstellung der Messdaten in Reutlingen der Jahre 2005 bis 2009.

Schadstoffkomponente	Stationen	2005	2006	2007	2008	2009
NO ₂ -Jahresmittel	Referenzmesspunkt	55	55	-	-	-
	MP6	71	61	-	-	-
	MP7	63	59	-	-	-
	MP8	63	54	-	-	-
	MP9	101	90	-	88	91
	MP5	38	31	30	29	-
NO ₂ -98-Perzentil	Referenzmesspunkt	113	118	-	-	-
	MP6	-	-	-	-	-
	MP7	-	-	-	-	-
	MP8	-	-	-	-	-
	MP9	-	-	-	168	175
	MP5	-	-	-	-	-
PM10-Jahresmittel	Referenzmesspunkt	28	31	-	-	-
	MP6	-	-	-	-	-
	MP7	-	-	-	-	-
	MP8	-	-	-	-	-
	MP9	-	-	-	35	36
	MP5	-	-	-	-	-
PM10-Überschreitungen (Anzahl der Tage über 50 µg/m ³)	Referenzmesspunkt	17	44	44	-	-
	MP6	-	-	-	-	-
	MP7	-	-	-	-	-
	MP8	-	-	-	-	-
	MP9	-	-	-	51	57
	MP5	-	-	-	-	-

Tab. 4.1: Messdaten an den Messstationen in Reutlingen. Quelle LUBW (2006 bis 2010)

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 dem Vergleich der Berechnungs- und Messergebnisse des Ortsbereiches bzw. umliegender Stationen abgeleitet und dann auf die verkehrsbeeinflussten Stationsstandorte angewendet, um einen Vergleich zwischen den Mittelwerten der Messdaten und den Berechnungsergebnissen zu erhalten. Bei den Berechnungen wird die Randbebauung typisiert nach Straßenraumbreite mit einer Länge von ca. 100 m berücksichtigt. Innerhalb dieser Straßenabschnitte wird eine einheitliche Immission berechnet; mit diesem Berechnungsverfahren kann keine weitere kleinräumige Differenzierung erfolgen, sodass für die beiden Straßenabschnitte der Lederstraße im Bereich der Messstellen jeweils ein

Rechenwert zugeordnet wird. Für feinere räumliche Auflösungen der berechneten Immissionen wäre der Einsatz eines mikroskaligen Rechenverfahrens mit Berücksichtigung von Gebäudeumströmungen erforderlich. Die Ergebnisse der Immissionsberechnungen für die Lederstraße in Reutlingen sind basierend auf den angegebenen Verkehrsbelegungsdaten für das Netz und den Emissionsfaktoren für das Jahr 2012 in **Tab. 4.2** aufgeführt. Die berechneten NO₂-Belastungen weisen eine gute Übereinstimmung mit den Messdaten auf.

Aufgrund der komplexen Ausbreitungsverhältnisse im Bereich der Gebäude an der Lederstraße werden an den verschiedenen Messstationen deutliche Unterschiede in den NO₂-Immissionen gemessen. Die Berechneten Ergebnisse geben im Rahmen dieser Schwankungen die gemessenen Werte zufriedenstellend wieder. An der Lederstraße (westlicher Straßenabschnitt) stimmen die berechneten PM10-Werte mit den gemessenen sehr gut überein. Die berechnete Anzahl an Überschreitungstagen ist im Vergleich zu den Messungen jedoch deutlich zu hoch. Für die NO₂-Jahresmittel und den PM10-Kurzzeitwert sind an allen Straßenmessstellen Überschreitungen des Grenzwertes von 40 µg/m³ bzw. von Maximal 50 Tagen pro Jahr berechnet. Dort weisen auch die Messdaten Überschreitungen auf.

	NO₂- Jahresmittelwert [µg/m ³]	NO₂-98- Perzentilwert [µg/m ³]	PM10- Jahresmittelwert [µg/m ³]	PM10-Über- schreitungstage [Anzahl]
Lederstraße Ost	75	120	39	94
Lederstraße West	67	110	36	74

Tab. 4.2: Berechnete Immissionen an den Straßenabschnitten an den Messstationen in Reutlingen

Mit der selben Vorgehensweise wurden basierend auf den angegebenen Verkehrsbelegungsdaten für die Maßnahmen M1 Umweltzone Stufe 2 2012, M2 Verkehrsverflüssigung 2012 und M3 Umweltzone Stufe 3 2013 die Immissionsberechnungen durchgeführt. Die Ergebnisse werden zusammenfassend für die Lederstraße im Bereich der Messstellen, die Karlstraße zwischen dem Willi-Brandt-Platz und unter den Linden, die Rommelsbacher Straße zwischen der Mitnachtstraße und der Föhrstraße und die Tübinger Straße zwischen der Marienstraße und der Fizionstraße als relative Änderungen dargestellt, um die Auswirkungen der Maßnahmen und der zeitlichen Entwicklungen der Kfz-Flotte auf die Gesamtbelastungen zu beschreiben.

In **Abb. 4.3** (oben) sind die berechneten Jahresmittelwerte für NO₂ sowie in **Abb. 4.3** (unten) die relativen Änderungen der berechneten NO₂-Belastungen für die Jahre 2012 und 2013 sowie für die Maßnahmen M1, M2 und M3 bezogen auf den Referenzfall 2012 aufgezeigt. Im Anhang A2 sind die berechneten Immissionen für die betrachteten Straßen in Reutlingen grafisch dargestellt.

Die NO₂-Belastungen verringern sich an der Lederstraße Ost ausgehend vom Referenzfall 2012 mit 75 µg/m³ auf 66 µg/m³ durch die weitestgehende Maßnahme und an der Lederstraße West von 67 µg/m³ auf 60 µg/m³. Die berechneten NO₂-Immissionen mit der Maßnahme Umweltzone Stufe 2 im Jahr 2012 betragen an den betrachteten Straßenabschnitten etwa 99% des Referenzfalles Umweltzone Stufe 1 im Jahr 2012. Durch die Maßnahme M2 Verkehrsverflüssigung an der Lederstraße und an der Karlstraße werden an der Lederstraße Ost etwa 88% der Immissionen prognostiziert, an der Lederstraße West und an der Karlstraße etwa 89% der Immissionen. An den beiden anderen betrachteten Straßenabschnitten werden gleich bleibende Immissionen mit der Maßnahme M2 prognostiziert. Im Jahr 2013 werden ohne weitere Maßnahmen an der Lederstraße und an der Karlstraße etwa 96% und an der Tübinger Straße und an der Rommelsbacher Straße etwa 97% der Immissionen des Referenzfalls erwartet. Mit der Maßnahme M3 Umweltzone Stufe 3 werden etwa 91% der Immissionen an der Lederstraße Ost prognostiziert. An der Lederstraße West und an der Karlstraße werden etwa 92% und an der Rommelsbacher Straße und an der Tübinger Straße etwa 93% der Immissionen im Referenzfall berechnet.

Die PM₁₀-Belastungen (**Abb. 4.4**) verringern sich an der Lederstraße Ost ausgehend vom Referenzfall 2012 mit 39 µg/m³ auf 37 µg/m³ durch die weitestgehende Maßnahme und an der Lederstraße West von 36 µg/m³ auf 34 µg/m³. Gegenüber dem Nullfall 2012 werden durch die Maßnahme M1 Umweltzone Stufe 2 im Jahr 2012 ca. 99% der Gesamtbelastung an den betrachteten Straßenabschnitten erwartet. Durch die Maßnahme M2 Verkehrsverflüssigung an der Lederstraße und an der Karlstraße im Jahr 2011 werden ca. 97% der Immissionen an der Lederstraße Ost und ca. 98% der Immissionen an der Lederstraße West und an der Karlstraße erwartet. An der Rommelsbacher Straße und an der Tübinger Straße wird keine Änderung der Verkehrssituation und damit der Immissionen angenommen. Im Jahr 2013 werden an allen betrachteten Straßenabschnitten ohne weitere Maßnahmen 99% der Immissionen prognostiziert. Durch die Maßnahme M3 Umweltzone Stufe 3 im Jahr 2013 werden an der Lederstraße, an der Karlstraße und an der Tübinger Straße PM₁₀-Immissionen von ca. 96%, und an der Rommelsbacher Straße von etwa 97% gegenüber dem Referenzzustand prognostiziert.

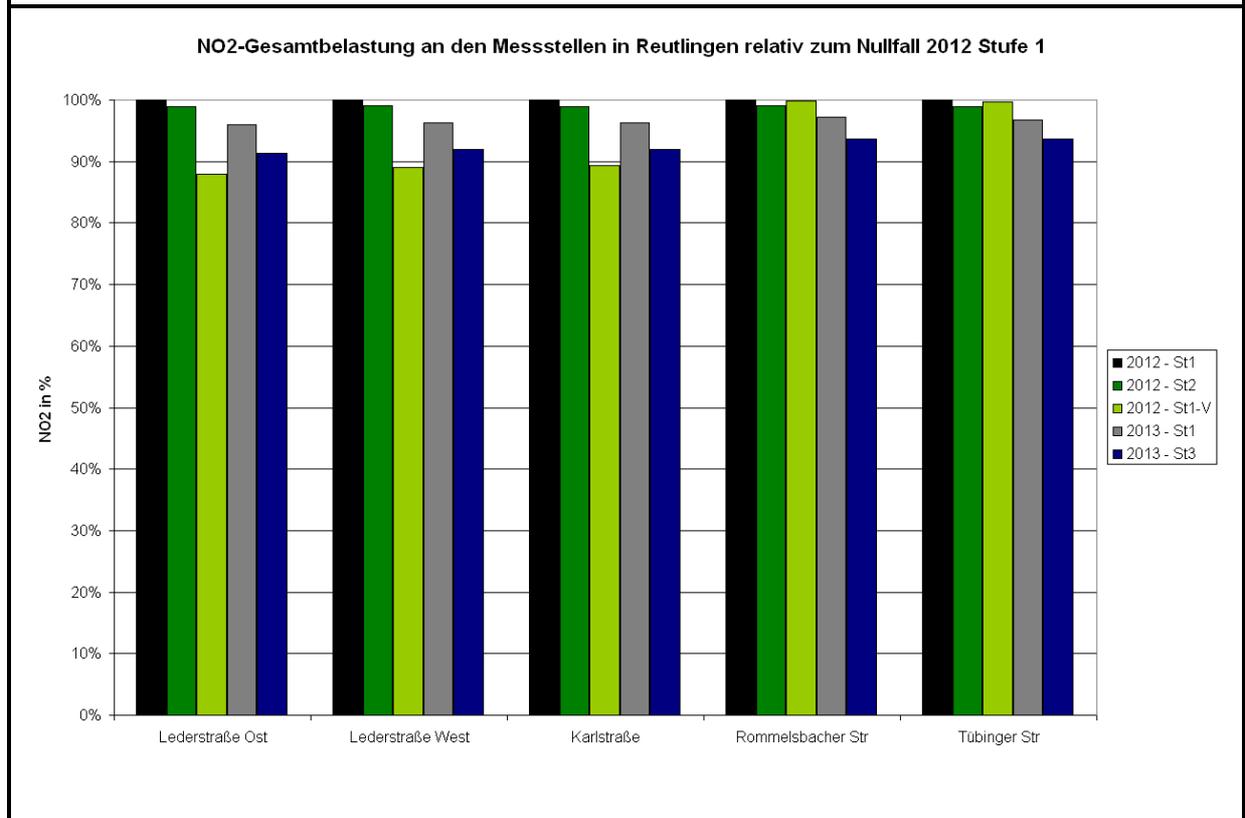
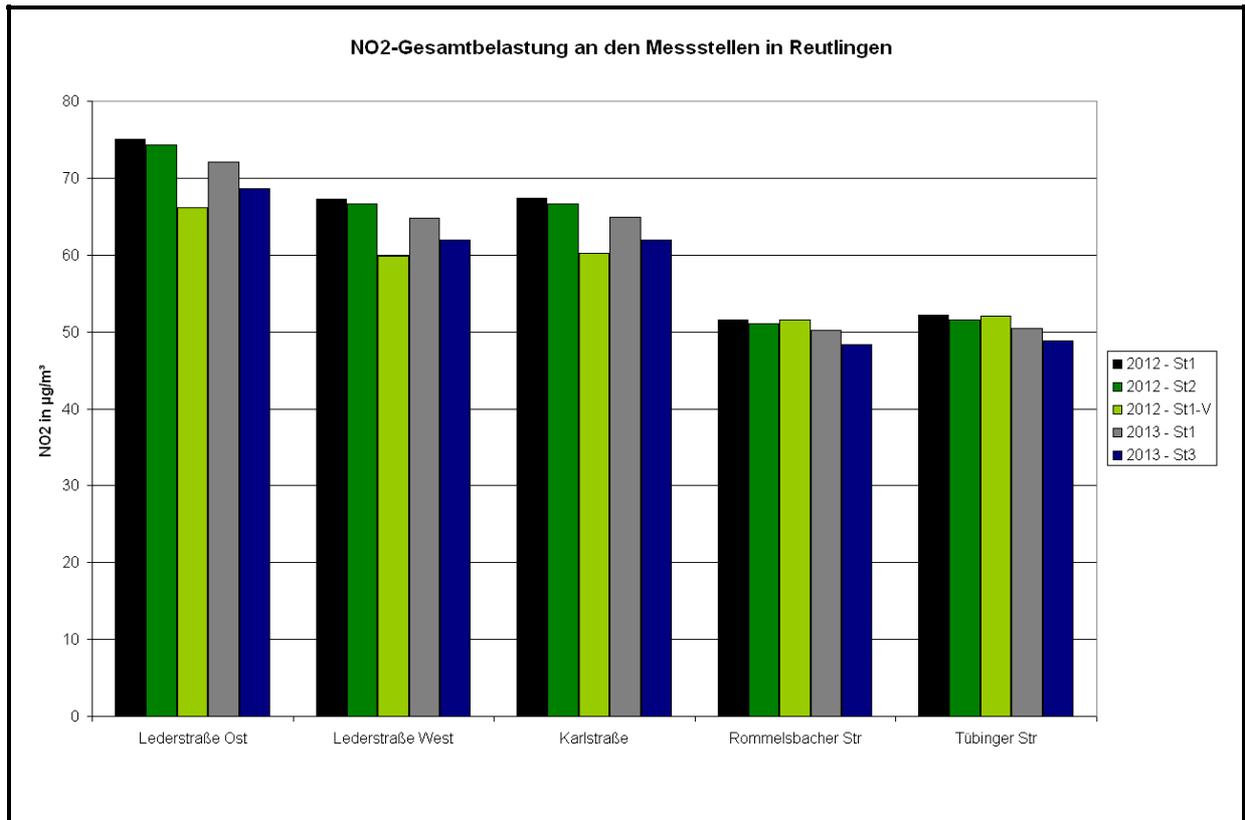


Abb. 4.3: NO₂ - Immissionen an einzelnen Straßenabschnitten für die betrachteten Maßnahmen und Fälle.
 oben: Immission in [µg/m³],
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2012 Stufe 1 in %

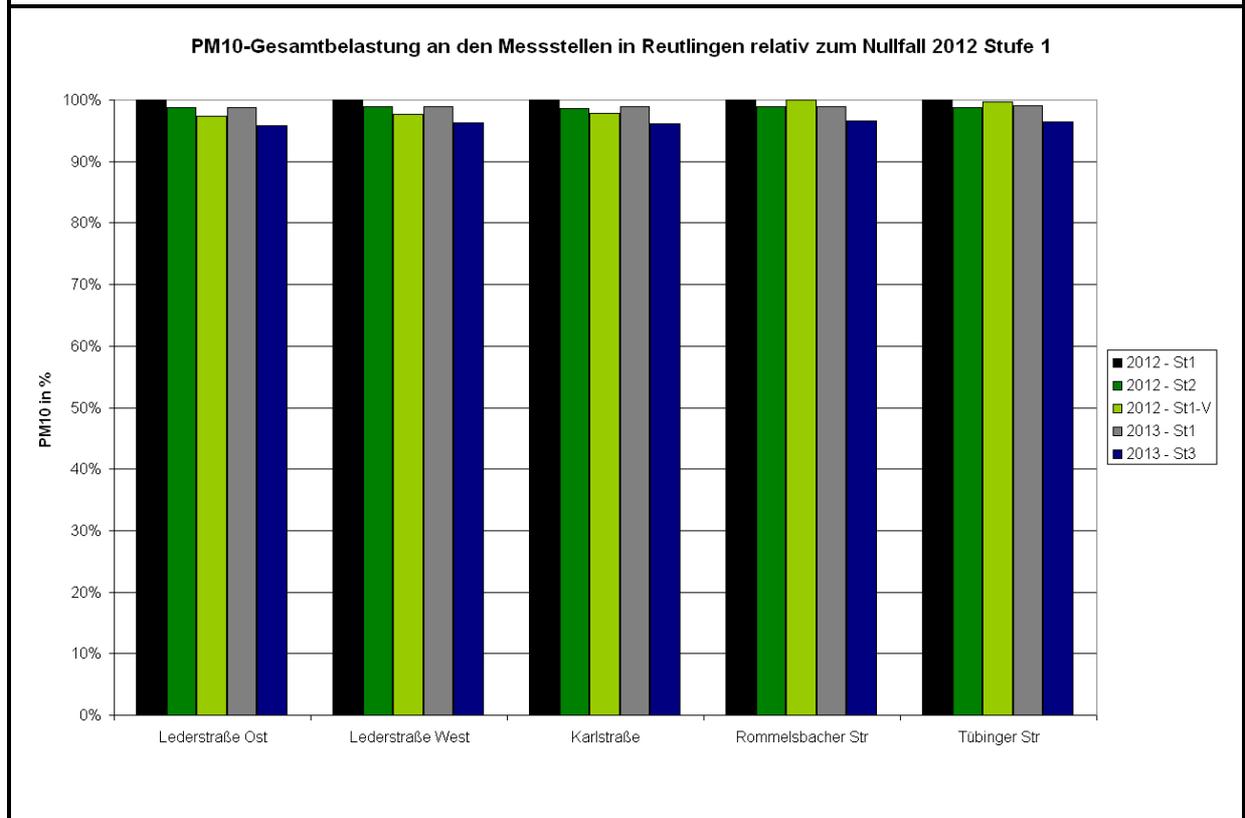
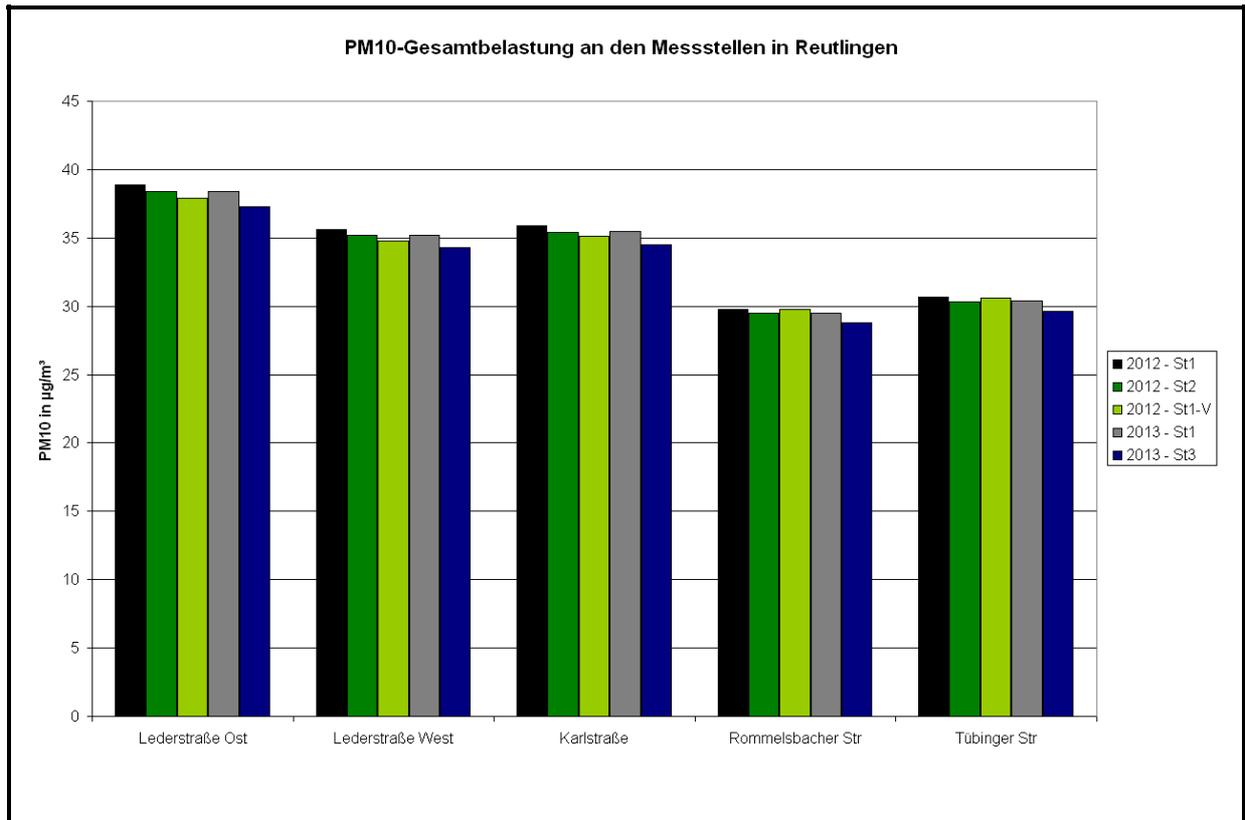


Abb. 4.4: PM10 - Immissionen an einzelnen Straßenabschnitten für die betrachteten Maßnahmen und Fälle.
 oben: Immission in $[\mu\text{g}/\text{m}^3]$,
 unten: relative Änderung gegenüber dem Nullfall 2012 Stufe 1 in %

Anhand der Jahresmittelwerte können Rückschlüsse auf die Anzahl an Überschreitungstagen mit Tagesmittelwerten über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gezogen werden. Im Nullfall im Jahr 2011 ist in der Lederstraße Ost mit ca. 94 Überschreitungstagen (und in der Lederstraße West mit 74 Überschreitungstagen) zu rechnen, mit der Maßnahme M1 im Jahr 2012 sind es ca. 91 (72), mit der Maßnahme M2 ca. 88 (70) im Jahr 2013 ohne weitere Maßnahmen ca. 91 (72) und mit der Maßnahme M3 sind es ca. 84 (67) Überschreitungstage im Jahr.

Ergänzend zu den PM10-Berechnungen ist zu erwähnen, dass in der 39. BImSchV auch ein Grenzwert für PM2.5 von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben ist, der ab dem Jahr 2015 einzuhalten ist. Für den Grenzwert ist zudem eine Toleranzmarge von $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ angegeben. Sie verringert sich ab dem Jahr 2009 jährlich um ein siebtel bis auf 0 zum 1. Januar 2015. Damit ist in dem hier betrachteten Prognosejahr 2012 ein Übergangsbeurteilungswert für PM2.5 von ca. $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ einzuhalten und im Prognosejahr 2013 ein Übergangsbeurteilungswert von ca. $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Zusätzlich ist ein Richtgrenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Jahresmittelwert), der ab dem Jahr 2020 einzuhalten ist, angegeben.

An dem betrachteten Straßenabschnitt Lederstraße Ost sind im Referenzzustand Konflikte mit den Übergangsbeurteilungswerten zu erwarten. An den übrigen betrachteten Straßenabschnitten wird der Übergangsbeurteilungswert sowohl im Referenzfall als auch in den Maßnahmenfällen nicht erreicht. Durch die verschiedenen betrachteten Maßnahmen wird auch an der Lederstraße Ost der Übergangsbeurteilungswert unterschritten.

Insgesamt ist aus den Ergebnissen der Berechnungen zu schließen, dass mit der durch die verschärfte Umweltzone vorgezogenen Erneuerung der Kfz-Fahrzeugflotte deutliche Verringerungen der motorbedingten Schadstofffreisetzungen verbunden sind, die auch zu deutlichen Verringerungen der NO_2 -Belastungen führen. Die Verflüssigung des Verkehrs führt ebenfalls zu deutlich verringerten Immissionen, jedoch nur an den entsprechenden Straßenabschnitten. 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. Jedoch reichen diese Verringerungen nicht, die hohen Schadstoffbelastungen soweit zu senken, dass die Grenzwerte eingehalten werden. Die Berechnungen zeigen, dass die Reduzierung der Feinstaubbelastungen durch die zeitliche Entwicklung der Fahrzeugflotte und die betrachteten Maßnahmen einen geringeren Umfang aufweisen, was an den nicht motorbedingten PM10-Beiträgen des Kfz-Verkehrs und dem insgesamt geringeren Anteil der verkehrsbedingten Beiträge an der PM10-Gesamtbelastung liegt. Wirkungsvolle Verringerungen sind für PM10 durch Reduzierungen des Kfz-Verkehrs erreichbar, wie die Ausführungen in der Studie „Maßnahmenbetrachtungen zu PM10 in Zusammenhang mit Luftreinhalteplänen“ (Lohmeyer, 2004) belegen.

5 LITERATUR

39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Luftqualitätsrichtlinie der EU durch Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen (39. BImSchV) und BImSchG – Änderung in deutsches Recht umgesetzt. Im Internet unter www.bmu.de
- Aviso (2009): Prognose der dynamischen KFZ-Flotte für Stuttgart für die Jahre 2010 und 2012 im Auftrag des Umweltministeriums Baden-Württemberg.
- Bächlin, W., Bösing, R. (2007): Aktualisierung des NO-NO₂-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung. Projekt 60976-04-01. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG. Gutachten im Auftrag des Landesamtes für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen (unveröffentlicht).
- BAST (1986): Straßenverkehrszählungen 1985 in der Bundesrepublik Deutschland. Erhebungs- und Hochrechnungsmethodik. Schriftenreihe Straßenverkehrszählungen, Heft 36. Im Auftrag des Bundesministers für Verkehr, Bergisch Gladbach, 1986. Hrsg.: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach.
- BAST (2005): PM10-Emissionen an Außerortsstraßen – mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM10-Konzentrationen aus Messungen an der A 1 Hamburg und Ausbreitungsrechnungen. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Verkehrstechnik, Heft V 125, Bergisch-Gladbach, Juni 2005.
- Düring, I., Lohmeyer, A. (2004): Modellierung nicht motorbedingter PM10-Emissionen von Straßen. KRdL-Experten-Forum „Staub und Staubinhaltsstoffe“, 10./11. November 2004, Düsseldorf. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL, KRdL-Schriftenreihe Band 33.
- Flassak, Th., Bächlin, W., Bösing, R., Blazek, R., Schädler, G., Lohmeyer, A. (1996): Einfluss der Eingangparameter auf berechnete Immissionswerte für KFZ-Abgase - Sensitivitätsanalyse. In: FZKA PEF-Bericht 150, Forschungszentrum Karlsruhe.
- Kolb, H. (1976): Vergleich verschiedener Methoden der Übertragung von Statistiken der Ausbreitungsverhältnisse in orographisch modifiziertem Gelände. In: Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B. 24, S. 57-68.

- Kutzner, K., Diekmann, H., Reichenbacher, W. (1995): Luftverschmutzung in Straßenschluchten - erste Messergebnisse nach der 23. BImSchV in Berlin. VDI-Bericht 1228, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Lohmeyer, A., Nagel, T., Clai, G., Düring, I., Öttl, D. (2000): Bestimmung von Kurzzeitbelastungswerten - Immissionen gut vorhergesagt. In: Umwelt (kommunale ökologische Briefe) Nr. 01/05.01/2000.
- Lohmeyer (2005): Ergänzende Maßnahme zur Fortschreibung des Luftreinhalte- und Aktionsplans Reutlingen – Entlastung durch Fahrverbote, Prognose 2008. Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Projekt 60759, Oktober 2006. Gutachten im Auftrag des Regierungspräsidiums Tübingen.
- 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 (2006-2010): Spotmessungen 2005 bis 2009 – Darstellung der Messergebnisse. Hrsg.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe. Im Internet unter www.lubw.baden-wuerttemberg.de.
- LUBW (Internet): Daten- und Kartendienst der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe. Im Internet unter <http://brsweb.lubw.baden-wuerttemberg.de> (abgerufen am 01.10.2010)
- 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).

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

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

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 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 NO₂ 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 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]
	c^*	=	dimensionslose Abgaskonzentration [-]
	Q	=	emittierter Schadstoffmassenstrom [$\mu\text{g}/\text{m s}$]
	B	=	Straßenschluchtbreite [m] beziehungsweise doppelter Abstand von der Straßenmitte zur Randbebauung
	u'	=	Windgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der fahrzeug-induzierten Turbulenz [m/s]

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

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

Tab. A1.1: Typisierung der Straßenrandbebauung

A1.3 Fehlerdiskussion

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

* Typ 0 wird angesetzt, wenn mindestens eines der beiden Kriterien (Straßenschluchtbreite $\geq 5 \times$ Gebäudehöhe bzw. Lückenanteil ≥ 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 der Basisdaten (d.h. Verkehrsmengen, Emissionsfaktoren, Fahrleistungsverteilung, Verkehrsablauf).

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

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

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

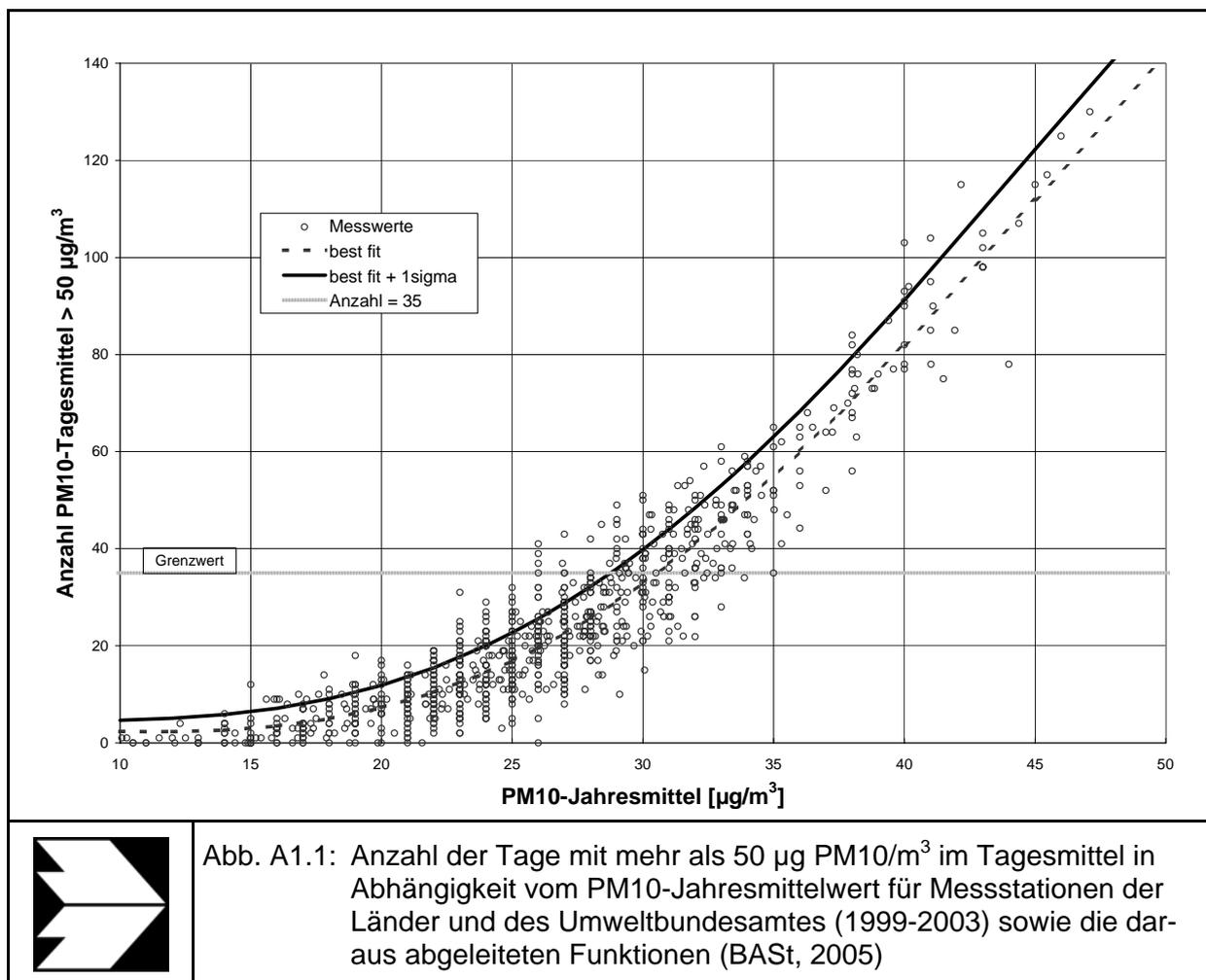
Die Güte von Ausbreitungsmodellierungen war Gegenstand weiterer PEF-Projekte (Röckle & Richter, 1995 und Schädler et al., 1996). Schädler et al. führten einen ausführlichen Vergleich zwischen gemessenen Konzentrationskenngrößen in der Göttinger Straße, Hannover, und MISKAM-Rechenergebnissen durch. Die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

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

A1.4 Überschreitungshäufigkeit der Stunden- und Tagesmittelwerte

Die 39. BImSchV definiert u.a. als Kurzzeitgrenzwert für NO₂ einen Stundenmittelwert von 200 µg/m³, 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/m³ bis 170 µg/m³ 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/m³ (= 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/m³ 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/m³ 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/m³ 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/m³ erwartet.

Im vorliegenden Gutachten wird wegen der Unsicherheiten bei der Berechnung der PM10-Emissionen sowie wegen der von Jahr zu Jahr an den Messstellen beobachteten meteorologisch bedingten Schwankungen der Überschreitungshäufigkeiten eine konservative Vorgehensweise gewählt. Dazu wird die in BAST (2005) angegebene „best fit“-Funktion um einen

Sicherheitszuschlag von einer Standardabweichung erhöht. Mehr als 35 Überschreitungen eines Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Grenzwert) werden mit diesem Ansatz für PM10-Jahresmittelwerte ab $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ abgeleitet. Die Berechnung der Anzahl der Überschreitungstage basiert auf dieser in **Abb. A1.1** dargestellten Funktion. Dieser Ansatz stimmt mit dem vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen vorgeschlagenen Vorgehen überein (LUA NRW, 2006).

AN H A N G A 2:
IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSENNETZ
REUTLINGEN

A2 IMMISSIONSDARSTELLUNGEN FÜR DAS HAUPTVERKEHRSSTRASSEN- NETZ REUTLINGEN

In Kap. 4 sind die relativen Änderungen der Immissionen an den betrachteten Straßenabschnitten der bestehenden verkehrsnahen Messstellen sowie drei weiterer Straßenabschnitte aufgeführt. Für das Jahr 2012, den Nullfall mit Umweltzone Stufe 1, die Maßnahmen M1, und M2, und für das Jahr 2013 ohne weitere Maßnahmen und die Maßnahme M3 sind in **Abb. A2.1** bis **Abb. A2.4** die berechneten NO₂-Jahresmittelwerte für alle betrachteten Hauptverkehrsstraßen im Stadtgebiet von Reutlingen dargestellt. Die Berechnungen erfolgen 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. In der Grafik sind Konzentrationswerte über 40 µg/m³, d.h. über dem NO₂-Grenzwert der 39. BImSchV, in gelben und roten Farben dargestellt. An stark frequentierten Straßenabschnitten sind teilweise weiterhin hohe NO₂-Belastungen prognostiziert, die bei entsprechenden Nutzungen zu Überschreitungen des Grenzwertes führen.

In **Abb. A2.5** bis **Abb. A2.8** sind die berechneten PM₁₀-Jahresmittelwerte für das Jahr 2012, den Referenzfall mit Umweltzone Stufe 1, die Maßnahmen M1 und M2 und für das Jahr 2013 ohne weitere Maßnahmen und mit Maßnahme M3 für alle betrachteten Hauptverkehrsstraßen in Reutlingen aufgezeigt. Der Schwellenwert von 29 µg/m³ zur Ableitung der PM₁₀-Kurzzeitbelastung (siehe Kap. A1.4), d.h. mehr als 35 Überschreitungen pro Jahr eines PM₁₀-Tagesmittelwertes von 50 µg/m³, ist in den Grafiken mit der gelben Farbe versehen. An allen gelb und in roten Farbtönen gekennzeichneten Straßenabschnitten kann eine Überschreitung des PM₁₀-Kurzzeitbelastungswertes bei entsprechenden Nutzungen erwartet werden. Damit sind an den stark frequentierten Straßenabschnitten weiterhin hohe PM₁₀-Kurzzeitbelastungen berechnet.

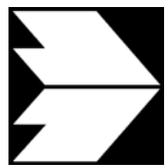
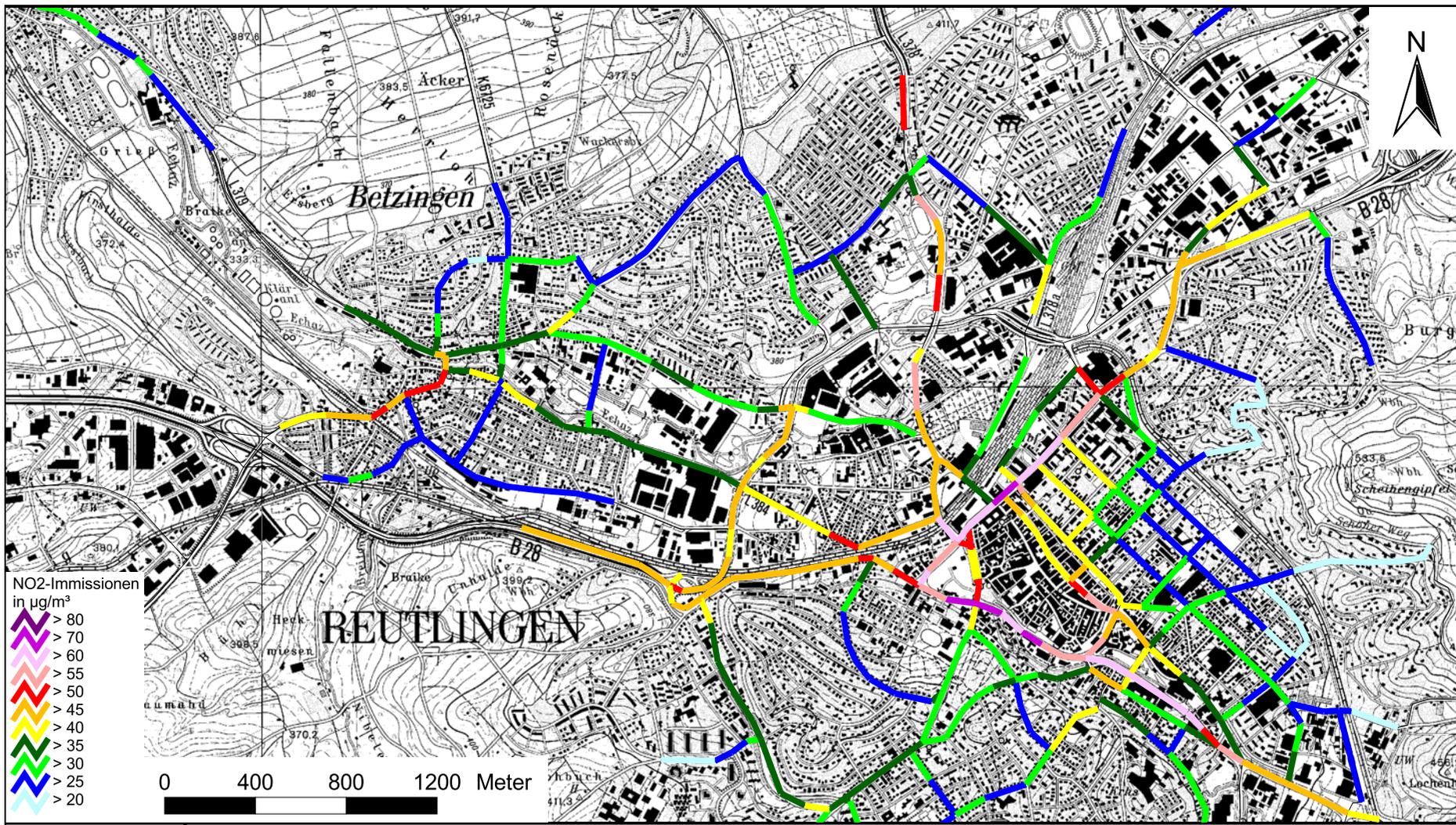


Abb. A2.1 NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Referenzfall
Umweltzone Stufe 1 im Jahr 2012

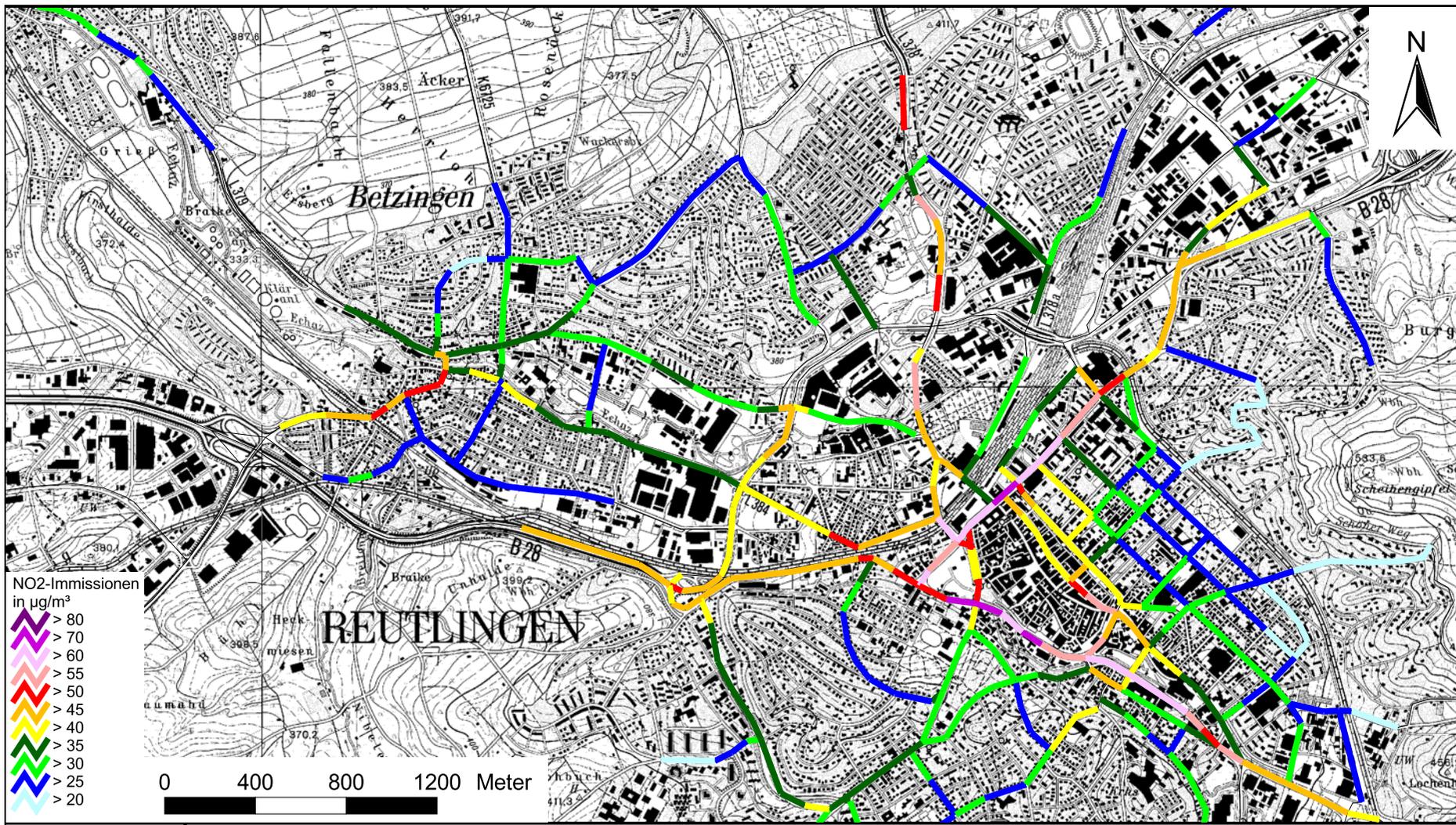
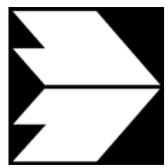


Abb. A2.2 NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) für das Jahr 2012 mit Umweltzone Stufe 2



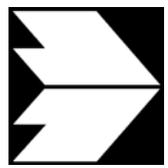
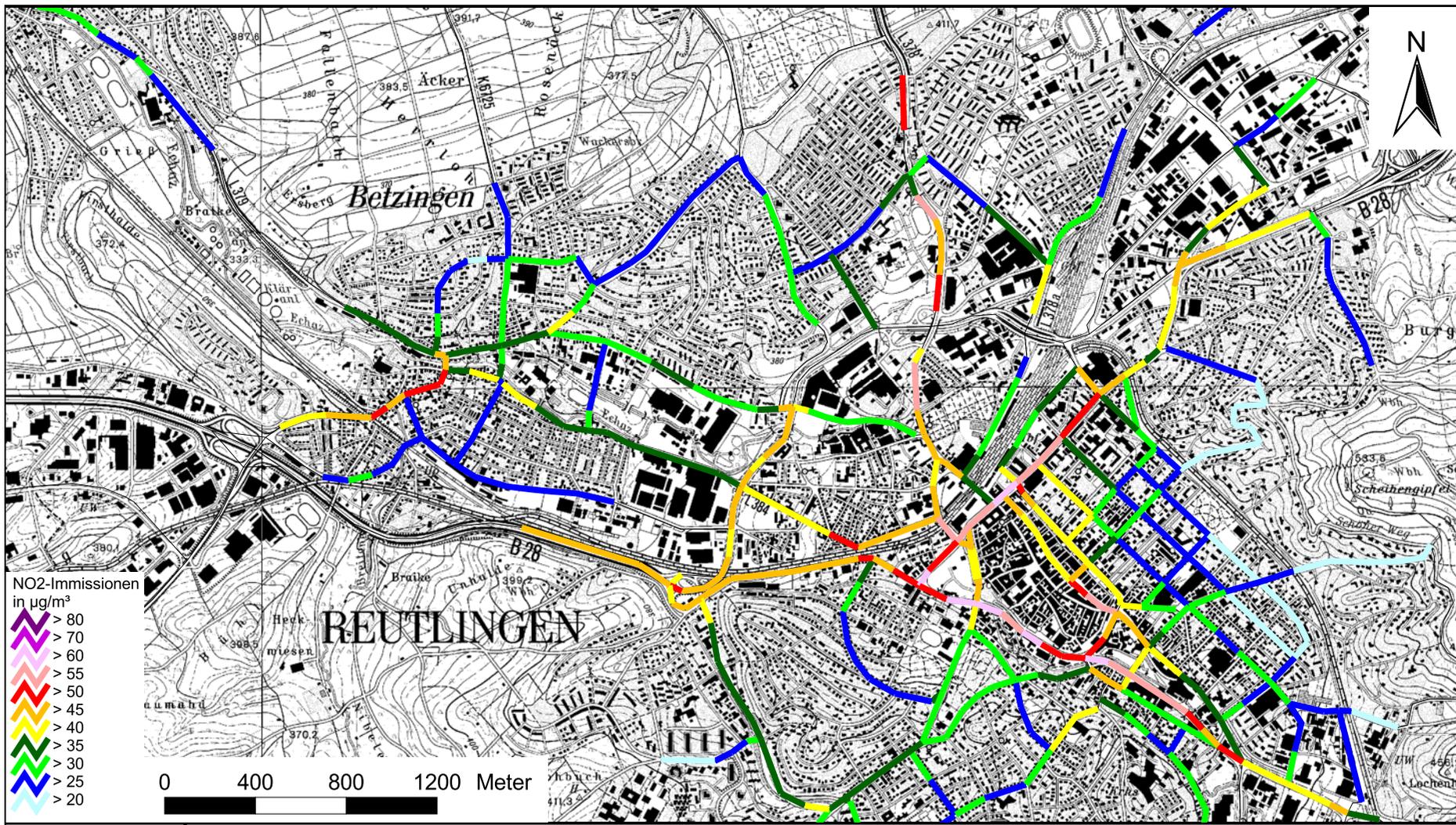


Abb. A2.3 NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) für das Jahr 2012 mit Verkehrsverflüssigung in der Lederstraße und der Karlstraße

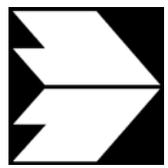
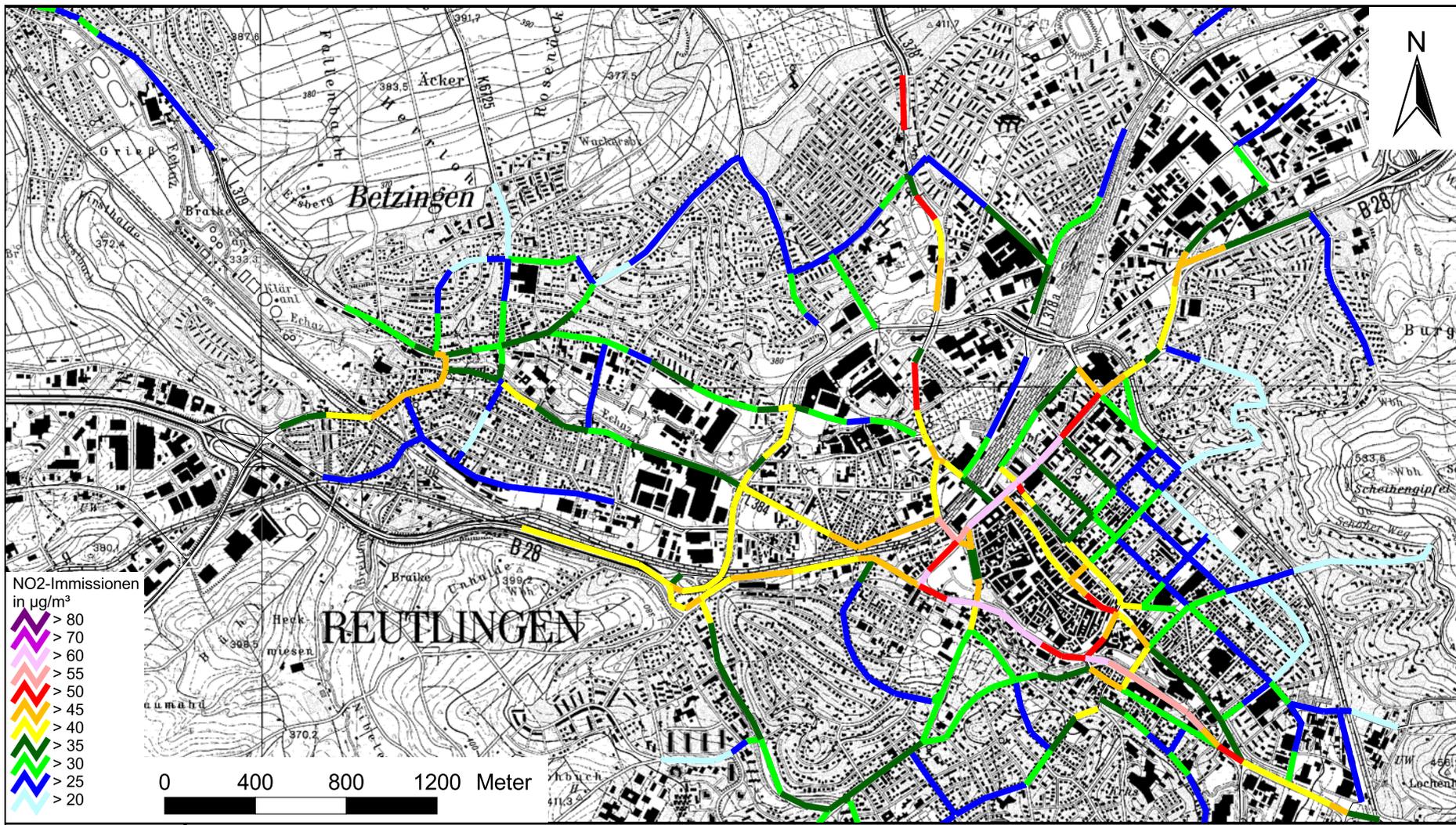


Abb. A2.4 NO₂-Immissionen (Jahresmittelwerte) für das Jahr 2013 mit Umweltzone Stufe 3

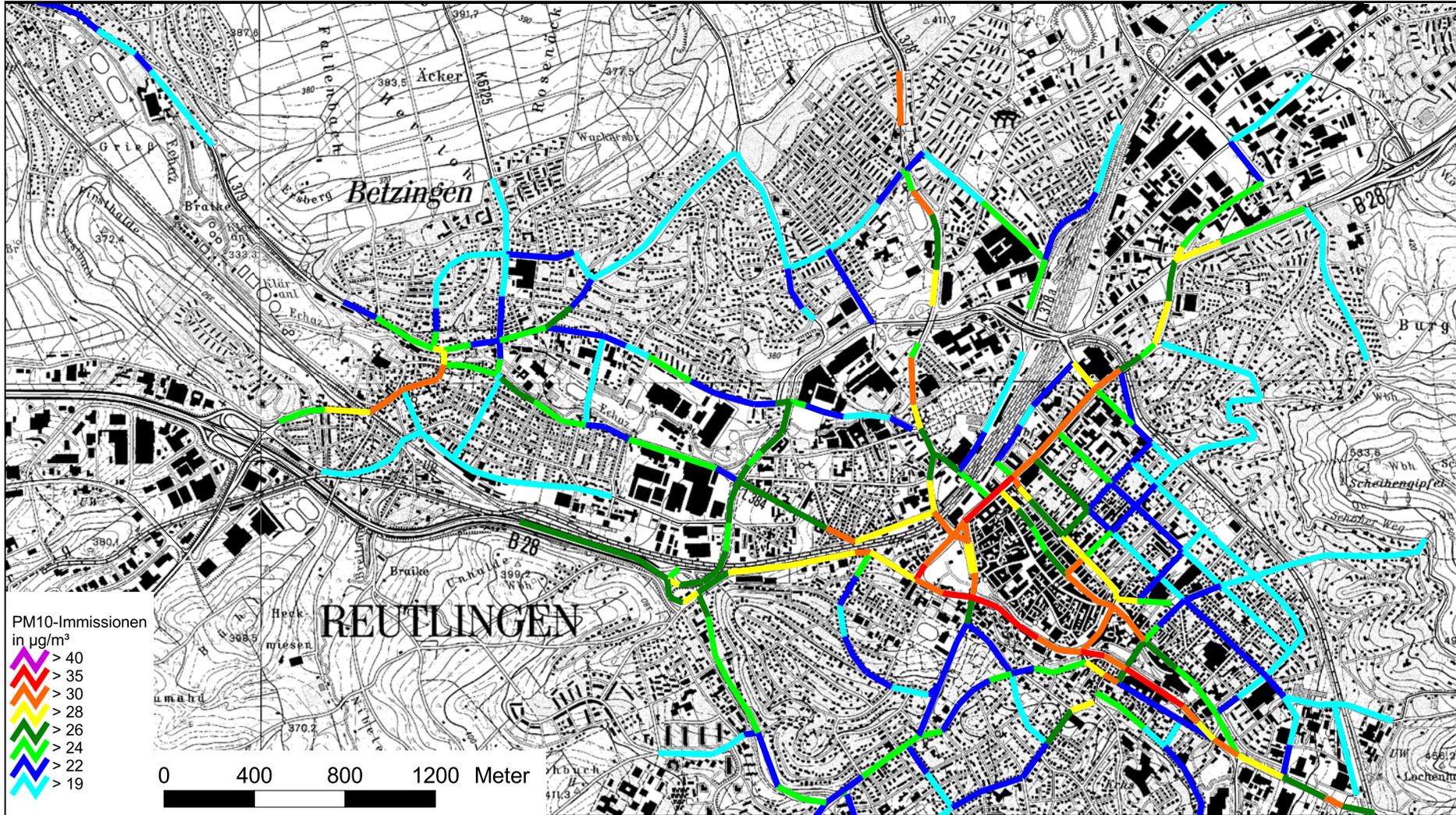


Abb. A2.5 PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für den Referenzfall
Umweltzone Stufe 1 im Jahr 2012

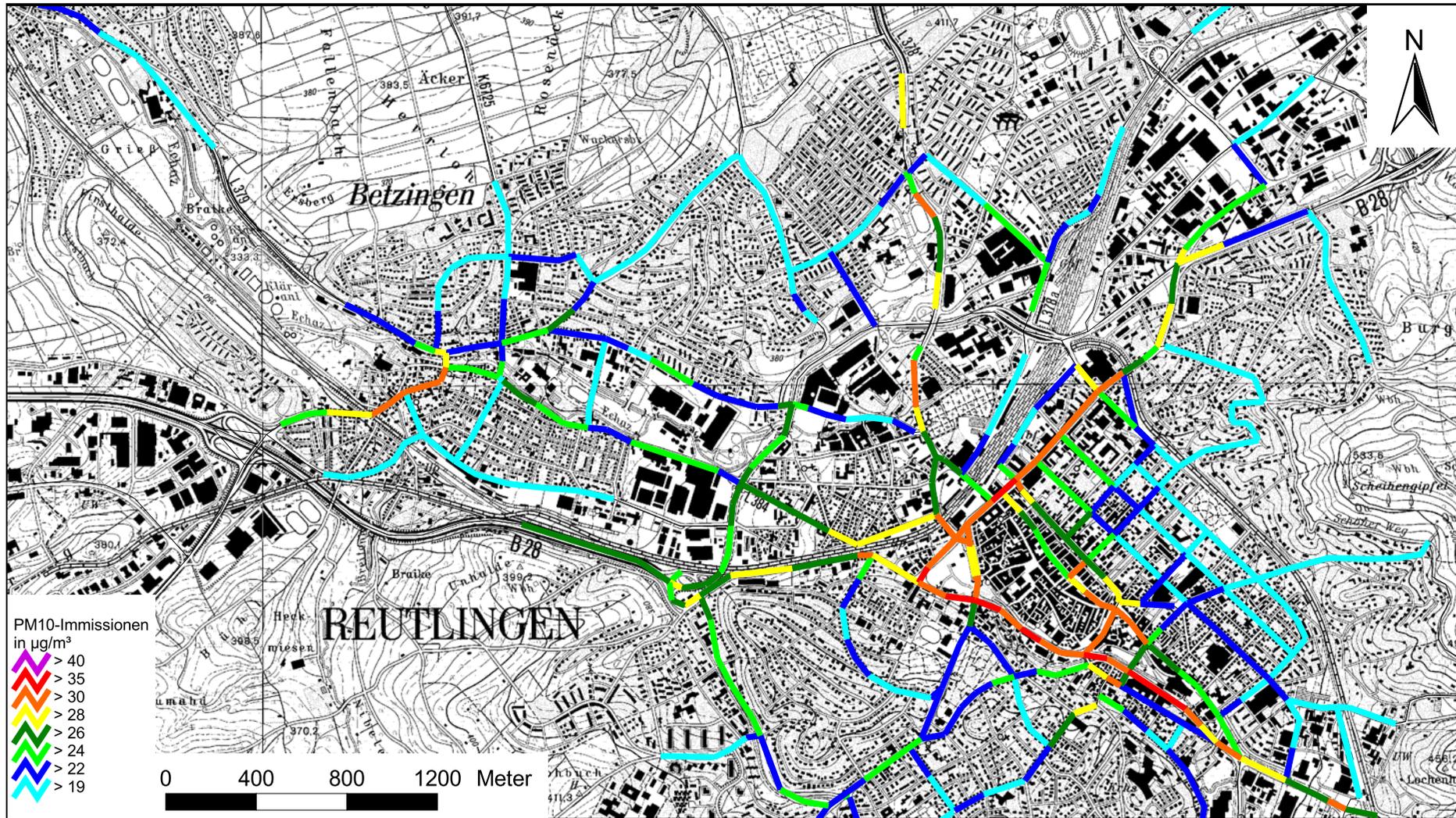


Abb. A2.6 PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für das Jahr 2012 mit Umweltzone Stufe 2

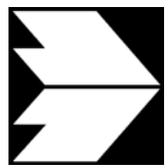
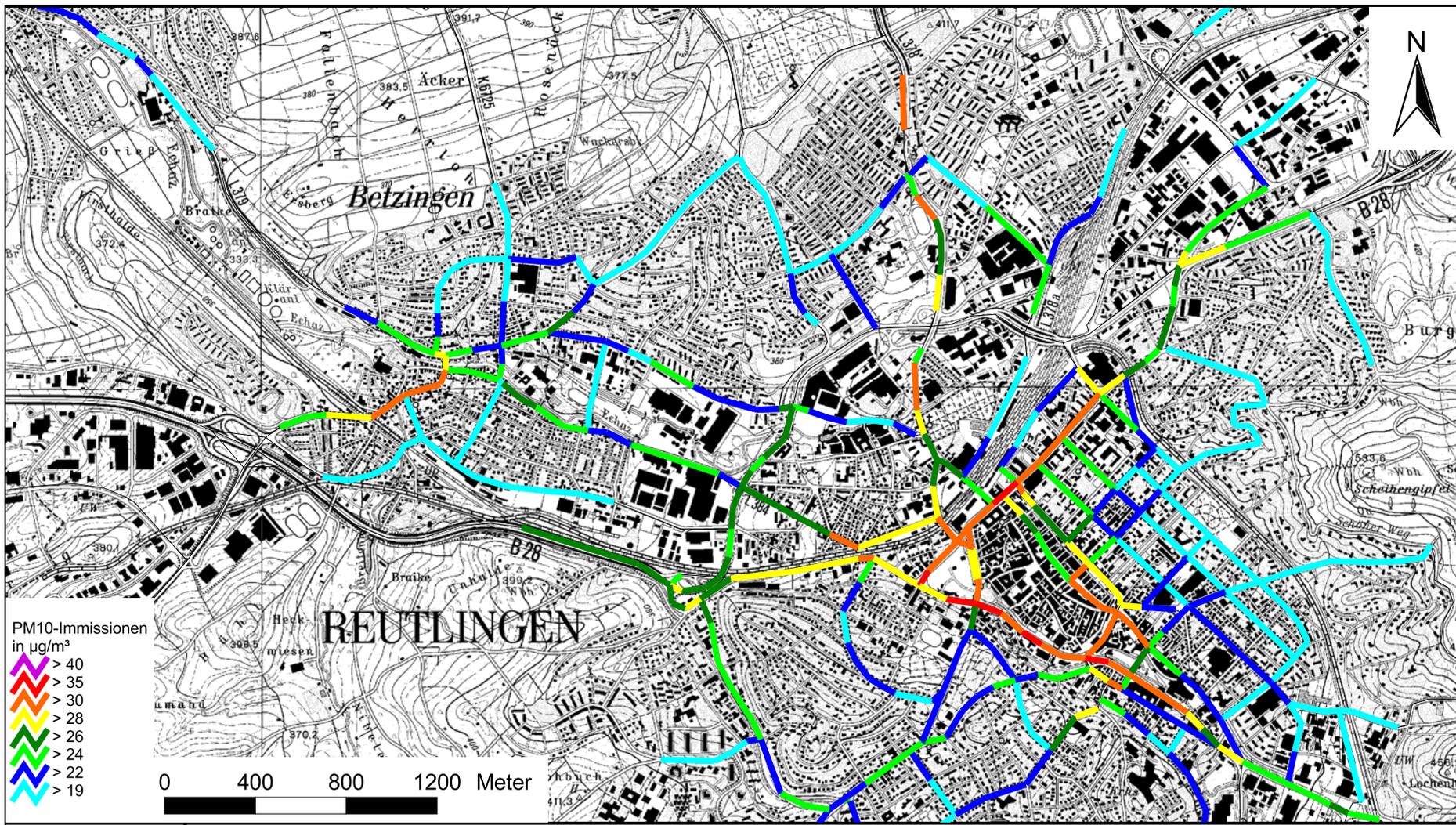


Abb. A2.7 PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für das Jahr 2012 mit verflüssigtem Verkehr in der Lederstraße und der Karlstraße

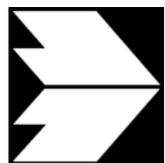
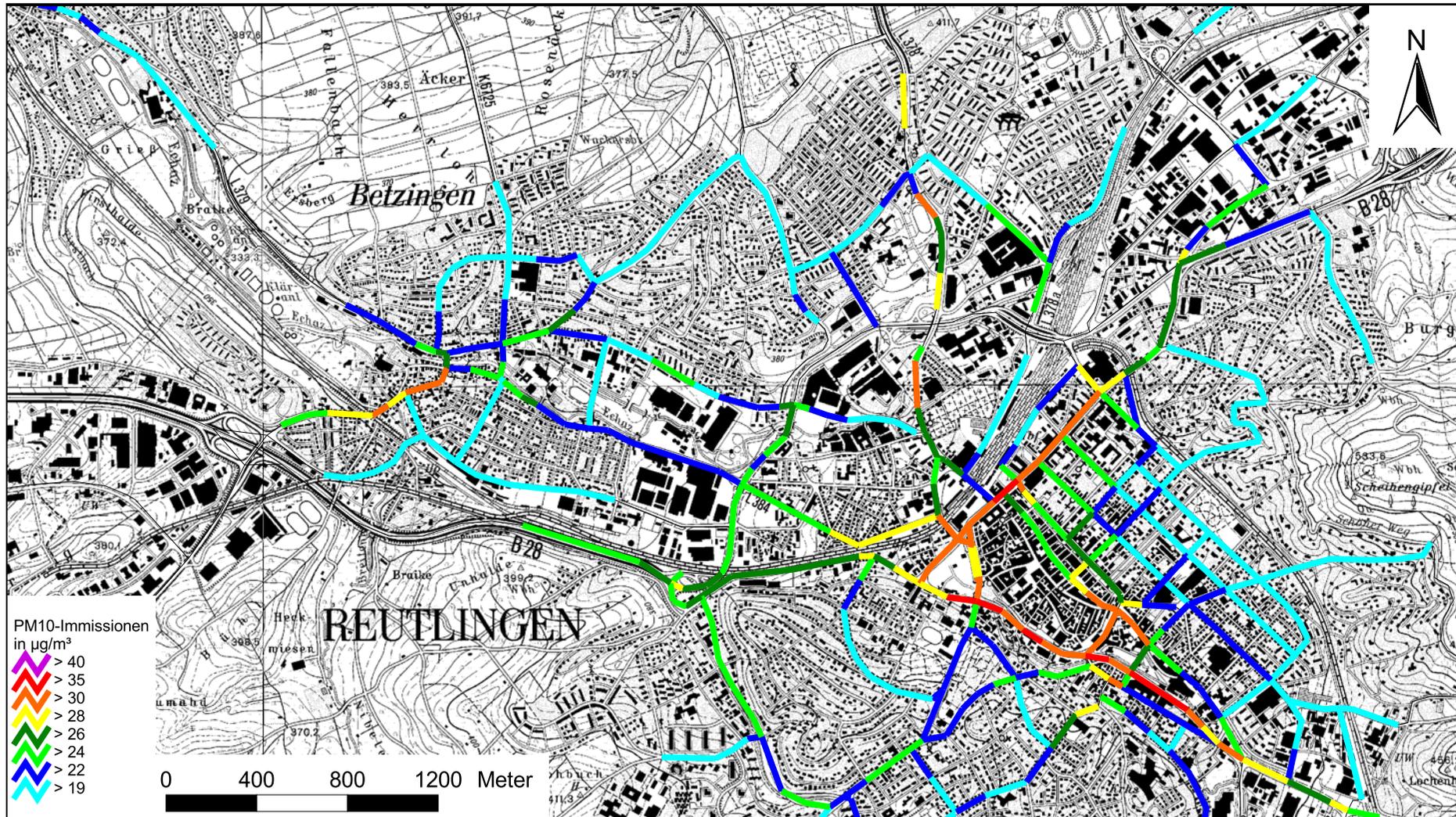


Abb. A2.8 PM10-Immissionen (Jahresmittelwerte) für das Jahr 2013 mit Umweltzone Stufe 3