

**Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG**

**Immissionsschutz, Klima,
Aerodynamik, Umweltsoftware**

An der Roßweid 3, D - 76229 Karlsruhe

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

Telefax: +49 (0) 721 / 6 25 10 30

E-Mail: info.ka@lohmeyer.de

URL: www.lohmeyer.de

Büroleiter: Dr.-Ing. Wolfgang Bächlin

**bekanntgegebene Stelle nach § 29b BImSchG
für den Aufgabenbereich O - Gerüche**

**LUFTREINHALTEPLAN HEIDELBERG,
AUSWIRKUNGEN WEITERER MASSNAHMEN
AUF DIE LUFTMESSSTATION
SPOTMESSSTELLE „HEIDELBERG
MITTERMAIERSTRASSE“**

Auftraggeber: Regierungspräsidium Karlsruhe
Referat 54.1
Schlossplatz 1-3
76131 Karlsruhe

Dipl.-Geogr. T. Nagel
Dipl.-Umweltwiss. A. Jost

Dr.-Ing. W. Bächlin

Dezember 2016, Endfassung März 2017
Projekt 63255-16-01
Berichtsumfang 36 Seiten

INHALTSVERZEICHNIS

ERLÄUTERUNG VON FACHAUSDRÜCKEN	1
1 ZUSAMMENFASSUNG	3
2 AUFGABENSTELLUNG	5
3 VORGEHENSWEISE	6
3.1 Berechnungsverfahren.....	6
3.2 Zusammenfassung der Beurteilungswerte.....	6
4 EINGANGSDATEN	8
4.1 Lagedaten.....	8
4.2 Verkehrsdaten	8
4.3 Fahrzeugflotte.....	10
4.4 Emissionen	13
4.4.1 Betrachtete Schadstoffe	13
4.4.2 Methode zur Bestimmung der motorbedingten Emissionsfaktoren.....	13
4.4.3 Emissionen des untersuchten Straßennetzes	15
4.5 Meteorologische Daten	17
4.6 Luftmessdaten im Betrachtungsgebiet.....	18
5 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN	22
5.1 Auswirkungen auf die Emissionen	22
5.2 Auswirkungen auf die Immissionen.....	24
6 LITERATUR	29
A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION	32

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 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 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 / Kurzzeitwert

An den betrachteten Untersuchungspunkten unterliegen die Konzentrationen der Luftschadstoffe in Abhängigkeit von Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen etc. ständigen Schwankungen. Die Immissionskenngrößen Jahresmittelwert 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.

Die Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) fordert die Einhaltung von Kurzzeitwerten 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.

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.

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 erforderliche 2. Fortschreibung des Heidelberger Luftreinhalteplans waren u.a. immissionsseitige Wirkungsberechnungen bezüglich der NO₂-Jahresmittelwerte für den Standort der Messstelle Heidelberg Mittermaierstraße durchzuführen.

Folgende Fälle bzw. Maßnahmen waren zu betrachten:

- Referenzzustand 2015
- Trendprognose 2017
- Trendprognose 2018
- Trendprognose 2019
- Trendprognose 2020
- Einführung einer „blauen Plakette“ 2019 und 2020

Weiterhin war abzuschätzen, um wieviel Prozent der motorisierte Kfz-Verkehr für eine Einhaltung des Jahresmittelwertes für NO₂ von 40 µg/m³ ab dem Jahr 2018 zu reduzieren wäre.

Für die Erarbeitung des Luftreinhalteplans für Heidelberg wurden durch den Auftraggeber und die Stadtverwaltung Heidelberg Verkehrsbelegungsdaten zur Verfügung gestellt.

Aus den verfügbaren Verkehrsdaten des Heidelberger Straßennetzes wurden unter Berücksichtigung der aktuellen Emissionsdatenbank für Auspuffemissionen des UBA, HBEFA – Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.2 Stand 2014, mit aktuellen Anpassungen und auf der Grundlage der für Heidelberg und Umgebung ermittelten Fahrzeugflotte mit dem Straßennetzmodell PROKAS die Emissionen und darauf basierend die Immissionen unter Berücksichtigung typisierter Randbebauung (Screeningmodell) berechnet und die Änderungen für die Betrachtungsfälle gegenüber dem Referenzfall aufgezeigt. Betrachtet wurde der Schadstoff NO₂.

Für den Straßenabschnitt der Mittermaierstraße an der Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ sowie für den Standort der Luftmessstation wurden die oben genannten Fälle rechnerisch hinsichtlich der Emissionen und Immissionen betrachtet. In **Abb. 1.1** sind die berechneten NO₂-Immissionen für alle betrachteten Szenarien dargestellt. Damit wird

entsprechend den Berechnungen bei vergleichbarer Verkehrsstärke am Standort der Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ eine Überschreitung der Schwelle der NO_2 -Konzentration von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab dem Jahr 2020 vermieden. Weiter ermöglicht die weitgehende Maßnahme „blaue Plakette“ eine NO_2 -Konzentration unter $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$; eine entsprechende Minderung wäre ab dem Jahr der Einführung solch einer Plakettenregelung erreichbar.

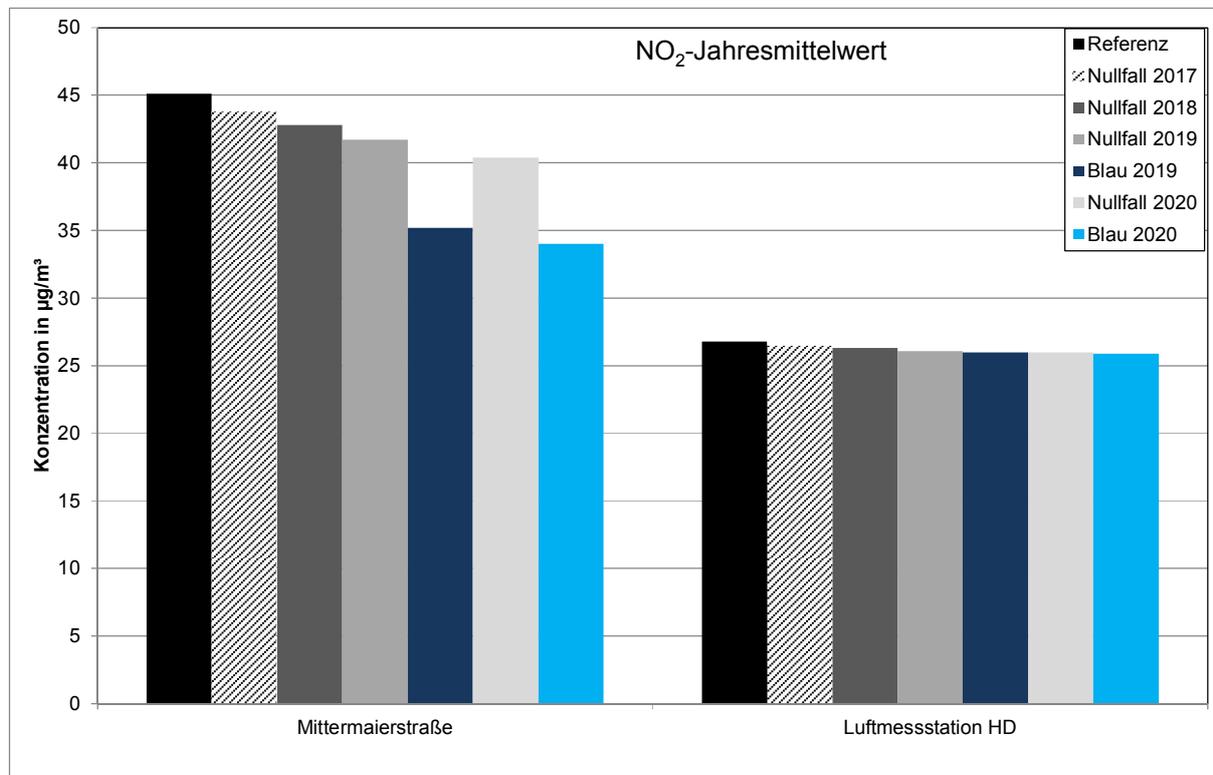


Abb. 1.1: NO_2 -Immissionen an der Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ und an der Luftmessstation in Heidelberg für die Szenarien

Sofern der Verkehr nur auf der Mittermaierstraße zwischen der Bergheimer Straße (nördlich) und der Kurfürstenanlage (südlich) verringert werden könnte, wäre eine entsprechende Reduzierung der Verkehrsstärke um 16% im Jahr 2018 erforderlich, um den NO_2 -Immissionswert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Messstelle nicht zu überschreiten, im Jahr 2019 wäre eine verkehrliche Reduktion um ca. 9% erforderlich.

2 AUFGABENSTELLUNG

Für die erforderliche 2. Fortschreibung des Heidelberger Luftreinhalteplans sind u.a. immissionsseitige Wirkungsberechnungen bezüglich den NO₂-Jahresmittelwerten durchzuführen. Die immissionsseitige Wirkung der Maßnahmen ist für den Standort der Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ aufzuzeigen. Für die genannten Maßnahmen bzw. Prognosehorizonte erfolgen Emissionsberechnungen und vergleichende Darstellungen. Basierend auf den Immissionsberechnungen für den Referenzfall erfolgen Immissionsmodellierungen für die zu betrachtenden Prognosehorizonte und Maßnahmen sowie vergleichende Darstellungen. Es sollten Maßnahmen betrachtet werden, die einen Weg zur dauerhaften Grenzwerteinhaltung ermöglichen.

Da in Heidelberg die PM10-Grenzwerte sicher eingehalten werden, wird keine Untersuchung zu Feinstaub benötigt.

Folgende Fälle bzw. Maßnahmen sind zu betrachten:

- Referenzzustand 2015
- Trendprognose 2017
- Trendprognose 2018
- Trendprognose 2019
- Trendprognose 2020
- Einführung einer „blauen Plakette“ 2019 und 2020

Weiterhin ist abzuschätzen, um wieviel Prozent der motorisierte Kfz-Verkehr für eine Einhaltung des Jahresmittelwertes für NO₂ von 40 µg/m³ ab dem Jahr 2018 zu reduzieren wäre.

Der Ansatz für die „blaue Plakette“ wird vorgegeben mit der **Tab. 2.1**.

Benzin-Pkw	ab Euro 3	
CNG/LPG-Fahrzeuge (auch LKW und Busse)	ab Euro 3	
E-Fahrzeuge ohne Verbrennungsmotor (BEV, FCEV)	alle Fahrzeuge	
Diesel-Pkw und leichte Diesel-Nutzfahrzeuge	Fahrzeuge mit nachgerüsteter DeNO _x -Technik, wenn sie die NO _x -Werte von Euro 6 einhalten	Euro 6
Lkw und Busse > 2,61 t (Diesel)	Fahrzeuge mit nachgerüsteter DeNO _x -Technik, wenn sie die NO _x -Werte von Euro VI einhalten	Euro VI

Tab. 2.1: Kfz, für die eine „blaue Plakette“ vergeben werden kann

3 VORGEHENSWEISE

3.1 Berechnungsverfahren

Das Berechnungsverfahren PROKAS ermöglicht die Berücksichtigung des detaillierten Straßennetzes, der typisierten Randbebauung in Form eines Screeningmodells, der Tunnelstrecken und einer für das Untersuchungsgebiet repräsentativen Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik.

Auf der Grundlage der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Verkehrsmengen werden die von den Kraftfahrzeugen emittierten Schadstoffmengen und -immissionen ermittelt. Die mittleren spezifischen Emissionen der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden unter Berücksichtigung der Informationen des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 3.2 (UBA, 2014) bestimmt. Die Vorgehensweise zur Emissionsbestimmung entspricht somit dem Stand der Technik. Sie basiert auf der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7 (VDI, 2003).

Unter Einbeziehung der Auftretenshäufigkeit aller möglichen Fälle der meteorologischen Verhältnisse (lokale Wind- und Ausbreitungsklassenstatistik), der berechneten Emissionen des Verkehrs auf den Straßen innerhalb des Untersuchungsgebietes und des Wochengangs der Emissionen sowie der typisiert berücksichtigten Randbebauung werden die im Untersuchungsgebiet auftretenden Immissionen berechnet. Das verwendete Berechnungsverfahren PROKAS (siehe Anhang A1) ist in der Lage, sämtliche in **Abb. 4.1** dargestellten Straßenzüge gleichzeitig für jede Stunde der Woche mit ihrer jeweiligen Emission emittieren zu lassen.

Aus der Häufigkeitsverteilung der berechneten verkehrsbedingten Schadstoffkonzentrationen (Zusatzbelastung) werden die statistischen Immissionskenngrößen Jahresmittel- bzw. Kurzzeitwerte des untersuchten Luftschadstoffes ermittelt. Dieser Zusatzbelastung, verursacht vom Verkehr innerhalb des Untersuchungsgebietes, wird die großräumig vorhandene Hintergrundbelastung überlagert. Die Hintergrundbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne die Emissionen auf den berücksichtigten Straßen vorläge, wird auf der Grundlage von Messwerten an nahe gelegenen Messstandorten abgeschätzt.

3.2 Zusammenfassung der Beurteilungswerte

In **Tab. 3.1** werden die in der vorliegenden Studie verwendeten Beurteilungswerte für NO₂, ergänzt um die Nennung der Feinstaubbeurteilungswerte (PM₁₀, PM_{2.5}), zusammenfassend

dargestellt. Diese Beurteilungswerte sowie die entsprechende Nomenklatur werden im vorliegenden Gutachten durchgängig verwendet.

Schadstoff	Beurteilungswert	Zahlenwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
		Jahresmittel	Kurzzeit
NO ₂	Grenzwert seit 2010	40	200 (Stundenwert, maximal 18 Überschreitungen/Jahr)
PM10	Grenzwert seit 2005	40	50 (Tagesmittelwert, maximal 35 Überschreitungen/Jahr)
PM2.5	Grenzwert seit 2015	25	

Tab. 3.1: Beurteilungsmaßstäbe für Luftschadstoffimmissionen nach 39. BImSchV (2010)

Die Beurteilung der Schadstoffimmissionen erfolgt durch den Vergleich relativ zum jeweiligen Grenzwert.

In dieser Ausarbeitung beschränkt sich die Betrachtung auf die NO₂-Jahresmittelwerte, da die anderen genannten Beurteilungswerte im Betrachtungsgebiet entsprechend den vorliegenden Messdaten weder erreicht noch überschritten werden (siehe Kap. 4.6).

4 EINGANGSDATEN

Für die Erarbeitung des vorliegenden Gutachtens wurden vom Auftraggeber, der Stadtverwaltung Heidelberg und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) Lagedaten und Verkehrsdaten digital übergeben. Diese werden für die Ausbreitungsrechnungen in das übernommene Straßennetzmodell mit typisierter Randbebauung inklusive Ergänzungen integriert.

Weiterhin werden verfügbare Fachinformationen für Klima und Lufthygiene ausgewertet.

4.1 Lagedaten

Das Stadtgebiet von Heidelberg liegt im Norden von Baden-Württemberg in dem Bereich, in dem das Neckartal von Osten den südlichen Odenwald durchschneidet und in den Oberrheingraben stößt. Die aktuell betriebenen Messstationen zur Erfassung der Luftschadstoffbelastungen in Heidelberg liegen alle im Bereich des Oberrheingraben. Im Stadtgebiet Heidelberg werden eine Dauermessstation zur Erfassung der städtischen Konzentrationen (städtischer Hintergrund Heidelberg) und die verkehrsnaher Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ im Zentralen Stadtgebiet betrieben; in zurückliegenden Jahren wurden weitere zeitlich befristete Messungen durchgeführt. Die Lage des Betrachtungsgebietes mit dem Straßennetz ist in **Abb. 4.1** aufgezeigt. Dort ist die Lage der beiden derzeit aktiven Messstellen in Heidelberg gekennzeichnet

Die bestehende Umweltzone in Heidelberg umfasst zentrale Siedlungsbereiche von Heidelberg südlich des Neckars sowie nördlich des Neckars die Stadtteile Handschuhsheim (ohne das Handschuhsheimer Feld), Neuenheim (ohne das Neuenheimer Feld sowie den Siedlungsbereich nördlich der Neuenheimer und Ziegelhäuser Landstraße). Die verkehrsbezogene Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ im Stadtteil Bergheim südlich des Neckars liegt innerhalb der Umweltzone.

4.2 Verkehrsdaten

Für die Hauptverkehrsstraßen von Heidelberg liegen Daten aus Verkehrszählungen vor. Das sind beispielsweise Knotenstromzählungen vom Mai 2014 in den Stadtteilen Bergheim und Neuenheim, die in dem Bericht „Verkehrserhebung und Kennzeichenerfassung Neuenheim, Stadt Heidelberg“ (INOVAPLAN, 2014) als Tageswerte (6 Uhr bis 22 Uhr) zusammengefasst sind. Weiter liegen ganztägige Verkehrszählungen an drei Knoten in Bergheim aus den Jahren 2015 und 2016 vor. In der Stadtverwaltung Heidelberg liegt eine lagebezogene Datenbank der Verkehrszählungen vor, in die auch die oben genannten Daten eingebunden

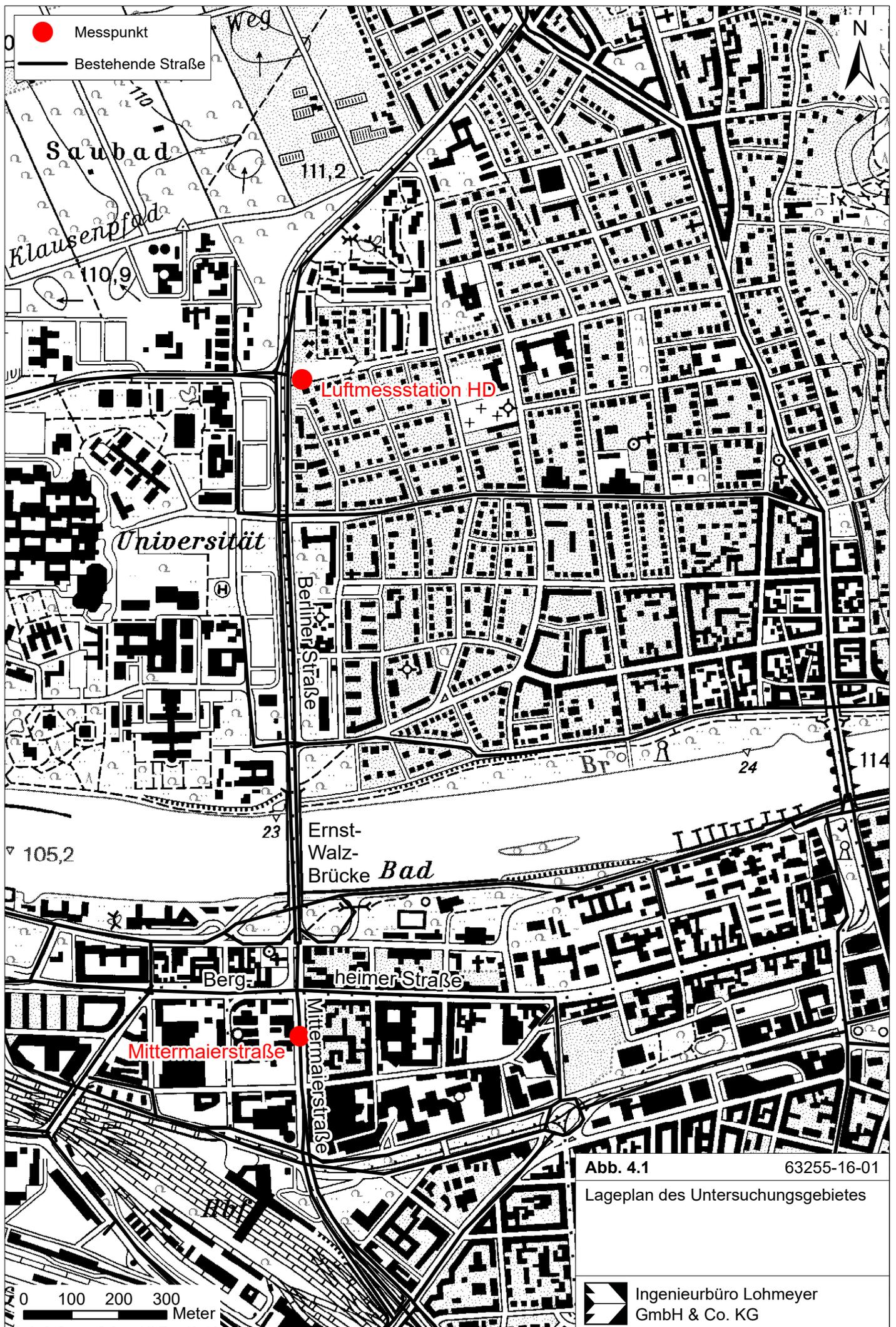


Abb. 4.1

63255-16-01

Lageplan des Untersuchungsgebietes

Ingenieurbüro Lohmeyer
GmbH & Co. KG

sind und die für einzelne Straßenabschnitte je nach Verfügbarkeit Angaben des werktäglichen Kfz-Verkehrs sowie des Schwerverkehrs enthält. Diese Datenbank wurde für die vorliegende Ausarbeitung zur Verfügung gestellt.

Für das Hauptverkehrsstraßennetz von Heidelberg in der weiteren Umgebung der beiden Messstandorte erfolgte eine Übertragung der übergebenen Zählraten und eine entsprechende Weiterführung auf die dazwischen liegenden Streckenabschnitte unter Berücksichtigung der digitalen Datengrundlage der Ausarbeitungen zum Luftreinhalteplan Heidelberg (Lohmeyer, 2010) sowie der Angaben aus dem verkehrsbezogenen Emissionskataster der LUBW, Stand 2014.

Für die Mittermaierstraße an der Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ wird eine Verkehrsbelegung von 20 680 Kfz/24h bei einem Schwerverkehrsanteil von 2% angegeben. In der Fortführung dieses Straßenzuges nach Norden sind auf der Brücke 41 600 Kfz/24h bei einem Schwerverkehrsanteil von 2% und auf der Berliner Straße nahe der städtischen Luftmessstation 25 160 Kfz/24h bei einem Schwerverkehrsanteil von 3% genannt. Nahe der Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ quert die Bergheimer Straße, die Richtung Westen (stadtauswärts) eine Verkehrsbelegung von 13 950 Kfz/24h bei einem Schwerverkehrsanteil von 3% und Richtung Osten (Innenstadt) von 13 100 Kfz/24h aufweist. Die für den Referenzzustand genannten Verkehrsbelegungsdaten werden unverändert für die Prognosejahre 2017 bis 2020 angesetzt.

4.3 Fahrzeugflotte

Aus den statistischen Angaben der Fahrzeugzulassungen des Kraftfahrtbundesamtes (KBA, 2016) wurde für die Zulassungsbezirke um Heidelberg der Bestand an Kraftfahrzeugen mit dem Stand 1.1.2015 ausgelesen. In dieser Zusammenstellung sind die zugelassenen PKW unterteilt nach Antriebsart und Euro-Stufen enthalten. Für die Ausarbeitung wurde die Flotte des Stadtbezirks Heidelberg ausgelesen. Da das Stadtgebiet von Heidelberg am nordwestlichen Rand von Baden-Württemberg liegt, bestehen intensive verkehrliche Verflechtungen zum Umland, das sich auf die Bundesländer Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz erstreckt. Für einen Überblick der Zusammensetzung der PKW-Flotte wurden die Angaben für die Zulassungsbezirke Mannheim Stadt, Karlsruhe, Heilbronn, Rhein-Neckar-Kreis, Neckar-Odenwald-Kreis aus Baden-Württemberg, Bergstraße und Odenwaldkreis aus Hessen sowie Ludwigshafen, Frankenthal, Speyer und Rhein-Pfalz-Kreis aus Rheinland-Pfalz ausgelesen.

Die Flottenzusammensetzungen der gemeldeten PKW sind in **Abb. 4.2** als Anteile an der jeweiligen PKW-Summe für die Stadt Heidelberg und dessen Umland dargestellt und ergänzt um die zusammengefasste gemeldete Flotte.

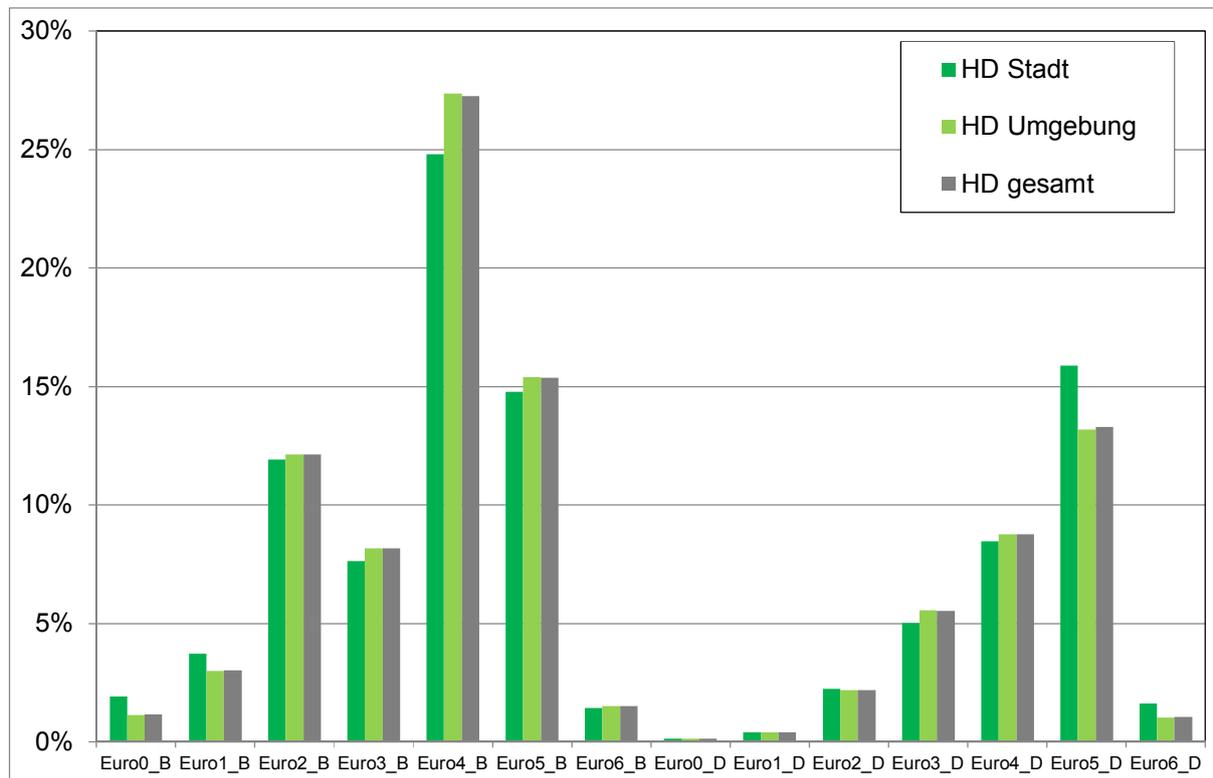


Abb. 4.2: PKW-Flottenzusammensetzung 2015 entsprechend Fahrzeugzulassungen für Heidelberg und Umgebung (Quelle: KBA, 2015)

Die gemeldeten Fahrzeugflotten der beiden Bezirke weisen gewisse Unterschiede auf, wobei in Heidelberg (hier bezeichnet als HD Stadt) der Anteil neuer Diesel-Fahrzeuge (Euro5 und Euro6 Diesel) gegenüber dem Umland (hier bezeichnet HD Umland) höher ausfällt. Da keine detaillierten Analysedaten über die im täglichen Verkehr in Heidelberg betriebenen PKW vorliegen und sich die Fahrten aus unterschiedlichen Herkunftsbereichen zusammensetzen, wird für die emissionsseitigen Betrachtungen die zusammengefasste Flotte aus Heidelberg und dessen Umland (hier bezeichnet HD gesamt) herangezogen. Diese statische Flottenzusammensetzung für PKW wird in Analogie zur Vorgehensweise im HBEFA in eine dynamische Flottenzusammensetzung für das Jahr 2015 überführt. Die Flottenzusammensetzung der anderen Fahrzeuggruppen wird aus HBEFA übernommen. Für die Anwendung im Stadtgebiet von Heidelberg in Bezug auf die Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ wird die Umweltzonenregelung berücksichtigt, indem die vom Fahrverbot betroffenen Fahrzeugarten aus der Fahrzeugflotte ausgeschlossen werden, unter Berücksichtigung, dass

ein Anteil von 20% dieser Fahrten aufgrund von Ausnahmegenehmigungen, Nachrüstungen etc. dennoch erfolgt. Auswertungen von Kennzeichenerfassungen in anderen Städten mit Umweltzonenregelungen in Deutschland hinsichtlich der Flottenzusammensetzung nach Euro-Stufen weisen darauf hin, dass etliche Fahrten mit Euroausstattungen entsprechend der KBA-Zulassung auch in den Umweltzonen erfolgen, obwohl sie vermieden werden sollten.

Die oben beschriebene Flottenzusammensetzung wurde auch für das Jahr 2016 ermittelt (KBA, 2016) und wird auf die folgenden Jahre 2017 bis 2020 in Analogie zum HBEFA übertragen. In **Abb. 4.3** sind die dynamischen Flottenzusammensetzungen für die Umweltzonenregelung in Heidelberg für die Jahre 2015, 2018 und 2020 aufgezeigt.

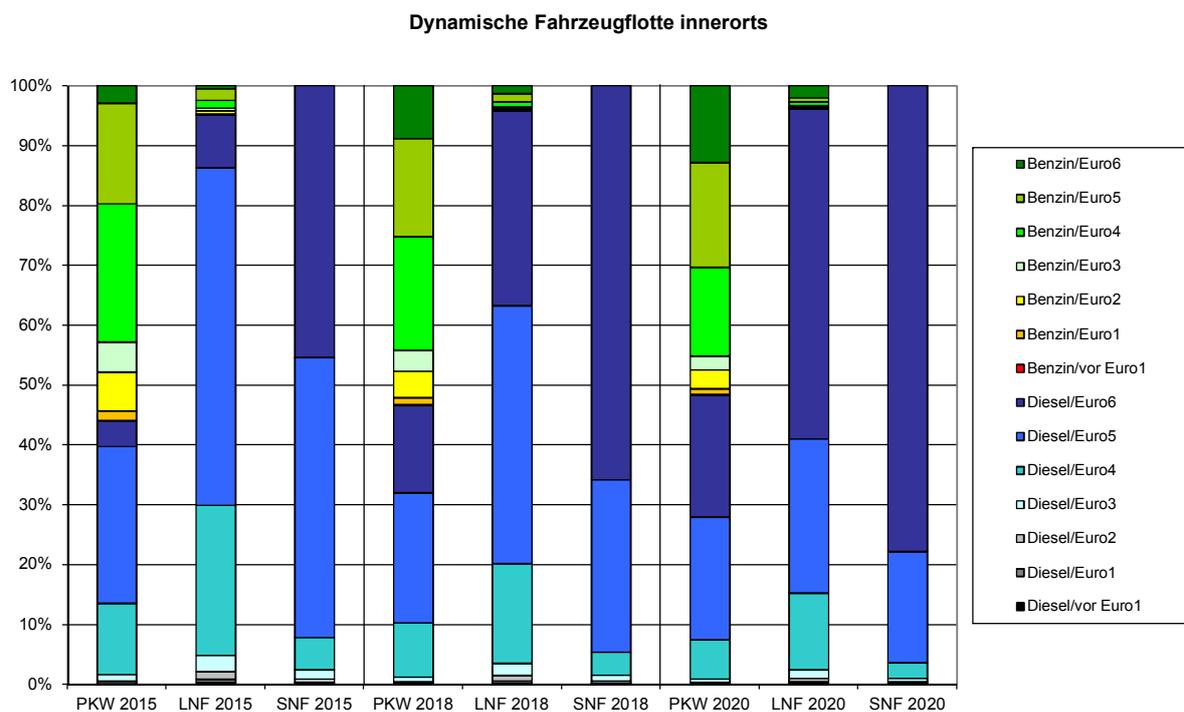


Abb. 4.3: Zusammensetzung der innerörtlichen dynamischen Kfz-Flotte für Heidelberg in der Umweltzone für die Jahre 2015, 2018 und 2020 unterteilt nach PKW, leichte Nutzfahrzeuge (LNF) und schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

Der Anteil der dieselbetriebenen PKW-Fahrten umfasst im Jahr 2015 ca. 44%, im Jahr 2018 ca. 47% und im Jahr 2020 ca. 48%; der Anteil der dieselbetriebenen leichten Nutzfahrzeugfahrten umfasst im Jahr 2015 ca. 95% und in den Jahren 2018 und 2020 ca. 96%; bei den Bussen und schweren Nutzfahrzeugen setzen sich die Fahrten ausschließlich aus Dieselbetriebenen zusammen.

4.4 Emissionen

4.4.1 Betrachtete Schadstoffe

Die Kraftfahrzeuge emittieren bei ihrem Betrieb eine Vielzahl von Schadstoffen. Die Relevanz dieser Schadstoffe ist recht unterschiedlich. Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit werden erfahrungsgemäß am ehesten bei NO₂ und PM10 überschritten. In der vorliegenden Untersuchung werden die motorbedingten Schadstofffreisetzungen für NO_x und NO₂direkt betrachtet.

4.4.2 Methode zur Bestimmung der motorbedingten Emissionsfaktoren

Zur Ermittlung der Emissionen werden die Verkehrsdaten und für jeden Luftschadstoff so genannte Emissionsfaktoren benötigt. Die Emissionsfaktoren sind Angaben über die im Mittel pro Fahrzeug der Fahrzeugflotte und Straßenkilometer freigesetzten Schadstoffmengen. Im vorliegenden Gutachten werden die Emissionsfaktoren für die Fahrzeugarten Leichtverkehr (LV) und Schwerverkehr (SV) unterschieden. Die Fahrzeugart LV enthält dabei die PKW, die leichten Nutzfahrzeuge (INfz) inklusive zeitlicher Entwicklung des Anteils am LV nach TREMOD (2010) und die Motorräder, die Fahrzeugart SV versteht sich inklusive Lastkraftwagen, Sattelschlepper, Busse usw.

Die Ermittlung der motorbedingten Emissionen erfolgt entsprechend der VDI-Richtlinie „Kfz-Emissionsbestimmung“ (VDI, 2003).

Die motorbedingten Emissionsfaktoren der Fahrzeuge einer Fahrzeugkategorie (PKW, leichte Nutzfahrzeuge, Busse etc.) werden mit Hilfe des „Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ Version 3.2 (UBA, 2014) berechnet.

Die motorbedingten Emissionen hängen für die Fahrzeugarten PKW, INfz, LKW und Busse im Wesentlichen ab von:

- den so genannten Verkehrssituationen („Fahrverhalten“), das heißt der Verteilung von Fahrgeschwindigkeit, Beschleunigung, Häufigkeit und Dauer von Standzeiten,
- der sich fortlaufend ändernden Fahrzeugflotte (Anteil Diesel etc.),
- der Zusammensetzung der Fahrzeugschichten (Fahrleistungsanteile der Fahrzeuge einer bestimmten Gewichts- bzw. Hubraumklasse und einem bestimmten Stand der

Technik hinsichtlich Abgasemission, z.B. EURO 2, 3, ...) und damit vom Jahr, für welches der Emissionsfaktor bestimmt wird (= Bezugsjahr),

- der Längsneigung der Fahrbahn (mit zunehmender Längsneigung nehmen die Emissionen pro Fahrzeug und gefahrenem Kilometer entsprechend der Steigung deutlich zu, bei Gefällen weniger deutlich ab) und
- dem Prozentsatz der Fahrzeuge, die mit nicht betriebswarmem Motor betrieben werden und deswegen teilweise erhöhte Emissionen (Kaltstarteinfluss) haben.

Die Zusammensetzung der Fahrzeuge innerhalb der Fahrzeugkategorien wird für das jeweils zu betrachtende Bezugsjahr der dynamischen Flottenzusammensetzung wie oben beschrieben entnommen und mit den spezifischen Emissionsangaben des HBEFA3.2 verbunden. Darin ist die Gesetzgebung bezüglich Abgasgrenzwerten (EURO 2, 3, ...) berücksichtigt.

Die Längsneigung der Straßen wird aus Höhenplänen, Lageplänen bzw. digitalen Geländedaten des Untersuchungsgebietes entnommen. Der Kaltstarteinfluss innerorts für PKW bzw. INfz wird entsprechend HBEFA angesetzt, sofern er in der Summe einen Zuschlag darstellt.

An der verkehrsnahen Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ wird folgende Verkehrssituation herangezogen:

IOS-HVS50d: Innerstädtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, dichter Verkehr

In der Folge dieses Straßenzuges werden zudem folgende Verkehrssituationen berücksichtigt:

IOS-HVS50: Innerstädtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, flüssiger Verkehr

IOS-HVS50g: Innerstädtische Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50 km/h, gesättigter Verkehr

Für die Prognosejahre weisen die dynamischen Flottenzusammensetzungen basierend auf HBEFA3.2 aus, dass innerorts und außerorts der Anteil PKW mit Diesel der Stufe Euro 6 zunimmt. Aktuell weisen Emissionsmessungen an Diesel-PKW mit Euro 6 höhere Werte auf als im HBEFA3.2 prognostiziert und es sind Diskussionen über entsprechende Anpassungen bzw. Aktualisierungen im Gange. Als Übergangsversion wird die Anwendung von Korrekturfaktoren durch das Umweltbundesamt vorgeschlagen, wobei entsprechende Veröffentlichungen bis Ende 2016 angekündigt waren und nun im Laufe 2017 erwartet werden. In Fachkreisen werden unterschiedliche Ansätze angesprochen, wobei auf Nachfrage bei Herrn Prof. Dr. S. Hausberger, Technische Universität Graz, für PKW Euro 6 innerorts ein Korrekturfaktor

turfaktor von 1.7, außerorts von 1.4 und auf Autobahnen keiner vorgeschlagen wird. Weiter wird diskutiert, dass für die zukünftig erhältlichen Diesel-PKW Euro 6c in realitätsnahen Fahrzyklen gegenüber dem Emissionsgrenzwert Toleranzen eingeräumt werden. Da im HBEFA3.2 die Emissionsfaktoren der Diesel-PKW Euro 6c als Anteil an den Emissionen der Diesel-PKW Euro 6 angesetzt sind, werden in der vorliegenden Untersuchung die genannten Korrekturfaktoren auch auf die Diesel-PKW Euro 6c angewendet. Das betrifft beispielsweise die in **Abb. 4.3** dargestellten Anteile der Diesel-PKW Euro 6.

In **Tab. 4.1** sind die berücksichtigten Verkehrssituationen und die entsprechenden Emissionsfaktoren für motorbedingte NO_x -Emissionen sowie direkte motorbedingte $\text{NO}_{2\text{direkt}}$ -Emissionen für das Bezugsjahr 2015 unter Berücksichtigung der Fahrzeugflottenzusammensetzung von Heidelberg für den Straßenabschnitt an der verkehrsnahen Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ sowie für weitere Abschnitte in diesem Straßenzug in Heidelberg aufgeführt. Die benannten Straßenabschnitte liegen sowohl innerhalb als auch außerhalb des Geltungsbereichs der Umweltzonenregelung (Verkehrssituationen außerhalb der Umweltzonenregelung werden mit dem Zusatz „oUz“ versehen).

Straßenparameter		spezifische Emissionsfaktoren je Kfz [g/km] 2015			
Verkehrssituation	Geschwindigkeit (PKW)	NO_x		$\text{NO}_{2\text{direkt}}$	
		LV	SV	LV	SV
IOS-HVS50	44.9	0.308	2.665	0.0937	0.2879
IOS-HVS50d	37.0	0.345	3.345	0.1051	0.3557
IOS-HVS50g	30.8	0.391	3.543	0.1199	0.3837
IOS-HVS50 oUz	44.9	0.339	3.029	0.0988	0.3016
IOS-HVS50d oUz	37.0	0.375	3.727	0.1101	0.3682

Tab. 4.1: Emissionsfaktoren in g/km je Kfz für den Straßenabschnitt an der verkehrsnahen Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ sowie weitere Abschnitte (auch ohne Umweltzonenregelung, hier bezeichnet mit oUz) in diesem Straßenzug in Heidelberg für das Bezugsjahr 2015

4.4.3 Emissionen des untersuchten Straßennetzes

Die Emissionen der betrachteten Schadstoffe NO_x und $\text{NO}_{2\text{direkt}}$ werden für jeden der betrachteten Straßenabschnitte ermittelt. Dabei wirken sich sowohl die verschiedenen Verkehrsaufkommen und LKW-(SV)-Anteile als auch die unterschiedlichen Verkehrssituationen aus.

Tab. 4.2 zeigt exemplarisch für die Mittermaierstraße an der verkehrsbezogenen Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ die Verkehrskenndaten und die berechneten Emissionen, ausgedrückt als Strecken und Zeit bezogene Emissionsdichten für das Bezugsjahr 2015.

Fahrtrichtung	DTV [Kfz/24h]	SV-Anteil [%]	Verkehrssituation	Mittlere Emissionsdichte	
				NO _x [mg/(m*s)]	NO ₂ direkt mg/(m*s)
Mittermaierstraße	20 680	2	IOS-HVS50d	0.088	0.0242

Tab. 4.2: Verkehrsdaten und berechnete Emissionen im Bezugsjahr 2015 für die Mittermaierstraße an der verkehrsnahen Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“

Ergänzend wurde auf der Grundlage der dynamischen Flottenzusammensetzung von Heidelberg eine Unterteilung der Fahrten nach den einzelnen Fahrzeuggruppen und Euro-Stufen für den Straßenabschnitt an der Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ durchgeführt. In **Abb. 4.4** ist die Unterteilung nach PKW mit Benzinmotoren, PKW mit Dieselmotoren, leichte Nutzfahrzeuge (LNF) mit Benzin- und Dieselmotoren und schwere Nutzfahrzeug (SNF) mit den jeweiligen Euro-Stufen als Anteile am Gesamtverkehr in Prozent dargestellt.

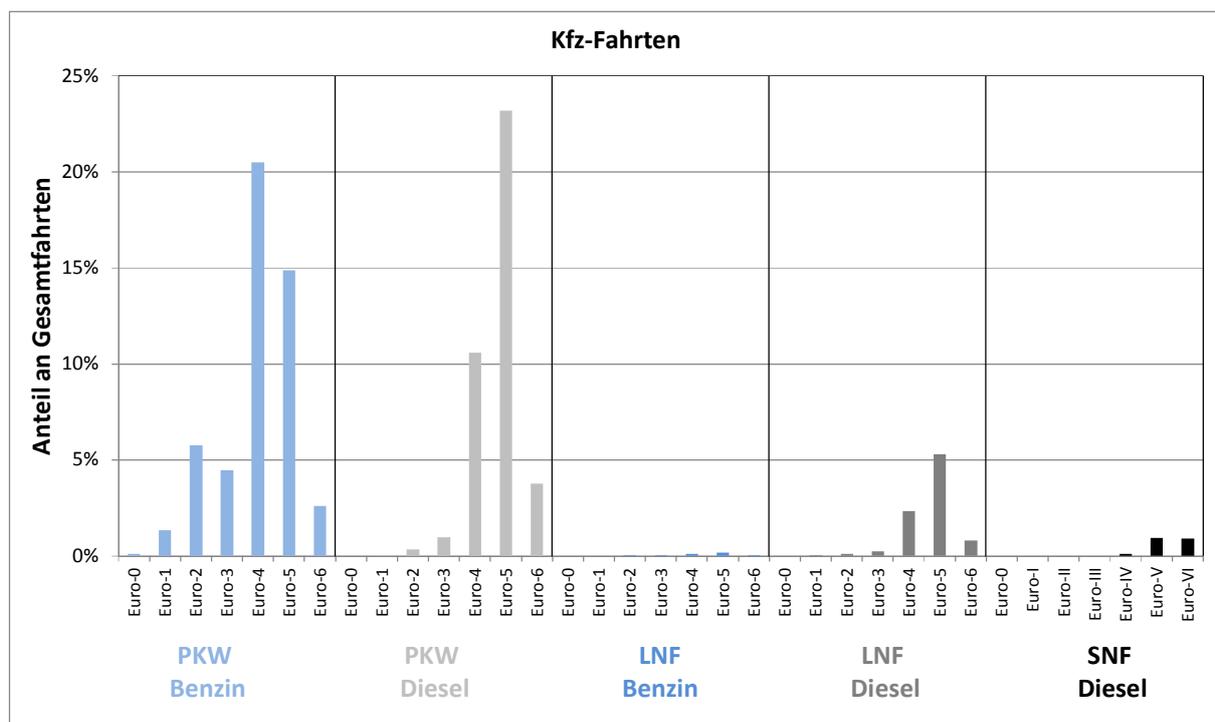


Abb. 4.4: Unterteilung der Fahrten in der Mittermaierstraße nach Fahrzeuggruppen und Euro-Stufen als prozentuale Anteile am Gesamtverkehr

Für Baden-Württemberg liegen synthetische Windrosen im 500 m Raster vor, die durch metSoft GbR, Heilbronn, berechnet wurden. Aus diesem Datensatz wurde durch den Auftraggeber eine repräsentative Ausbreitungsklassenzeitreihe für den Bereich der Mittermaierstraße in Heidelberg übergeben.

Die Windrichtungsverteilung an dem städtischen Standort in Heidelberg (**Abb. 4.6**) wird entsprechend der Orientierung des Oberrheingrabels von Winden aus dem südlichen Richtungssektor geprägt, für den auch die höchsten Windgeschwindigkeiten zu beobachten sind. Winde aus dem nordnordwestlichen Richtungssektor bilden ein zweites Maximum und Winde aus ost-südöstlicher Richtung entsprechend der Orientierung des Neckars kommen auch häufig vor. Die Windrichtungsverteilung wird als repräsentativ für die Lage des zentralen Stadtgebietes von Heidelberg angesehen. Die mittlere Windgeschwindigkeit beträgt in der Auswertehöhe ca. 2.4 m/s.

Die Windrose an der Luftmessstation Heidelberg wird von den umliegenden städtischen Nutzungen beeinflusst; am häufigsten treten dort Winde aus südöstlichen und nordwestlichen Richtungen auf; Winde aus dem östlichen Richtungssektor bilden ein Nebenmaximum; es wird eine geringe mittlere Windgeschwindigkeit von ca. 1.7 m/s erfasst.

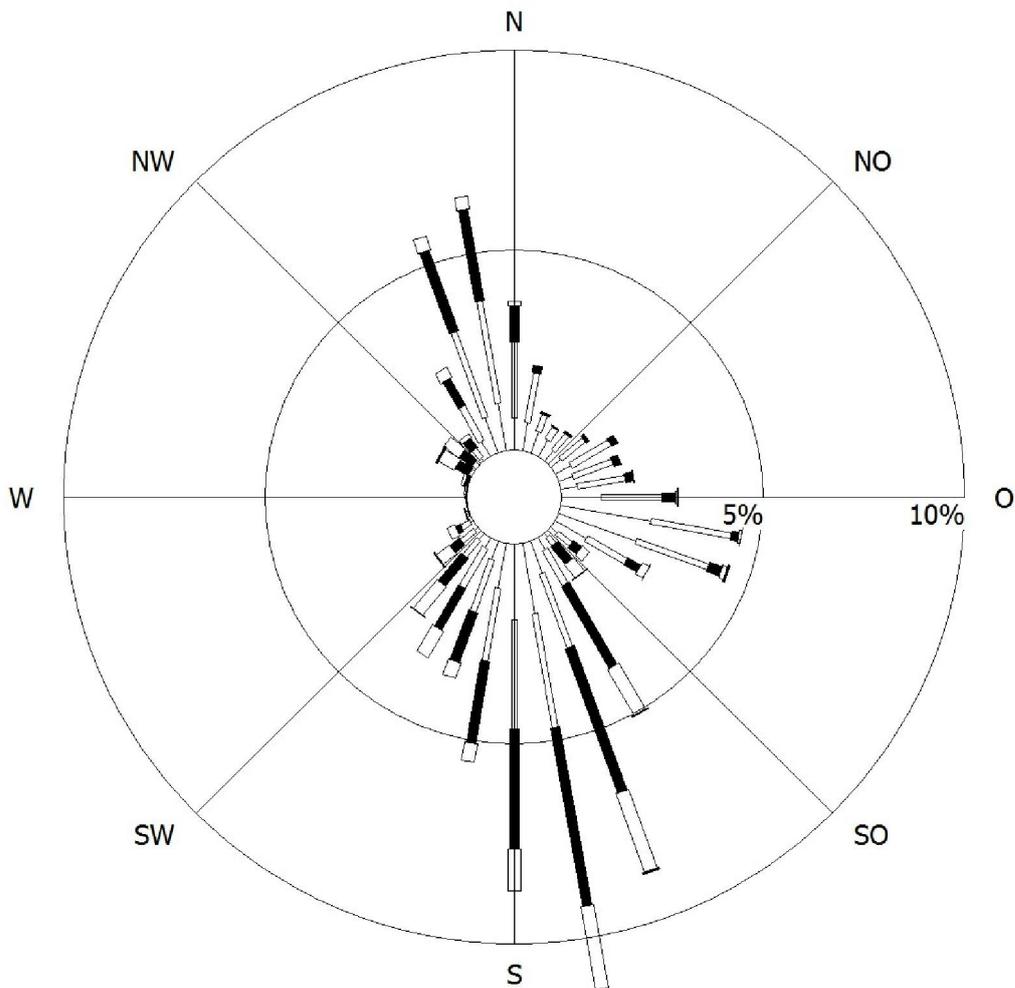
Für die Ausbreitungsberechnungen im Plangebiet werden die synthetischen Winddaten des Standortes an der Mittermaierstraße in Heidelberg (Quelle: metSoft GbR) unter Berücksichtigung der Rauigkeiten im Untersuchungsgebiet herangezogen.

4.6 Luftmessdaten im Betrachtungsgebiet

Die Immission eines Schadstoffes im Nahbereich von Straßen setzt sich aus der vorhandenen Hintergrundbelastung und der straßenverkehrsbedingten Zusatzbelastung zusammen. Die Hintergrundbelastung entsteht durch Überlagerung von Immissionen aus Industrie, Hausbrand, nicht detailliert betrachtetem Nebenstraßenverkehr und weiter entfernt fließendem Verkehr sowie überregionalem Ferntransport von Schadstoffen. Es ist die Schadstoffbelastung, die im Untersuchungsgebiet ohne Verkehr auf den explizit in die Untersuchung einbezogenen Straßen vorliegen würde. Dafür werden die verfügbaren Luftmessdaten mit entsprechender räumlicher Zuordnung gesichtet und folgend beschrieben.

Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) betreibt das Messnetz für Luftschadstoffe in Baden-Württemberg. In den Jahresberichten über die Immissionsmesswerte sind u.a. Angaben zu den statistischen Kenngrößen der gemessenen Luftschadstoffe zu finden (LUBW, 2007 – 2016).

Windverteilung in Prozent



Station	: HD_Syn_akt	Häufigkeit ABK	—	kleiner 1.4 m/s
Meßhöhe	: 10.0 m	I : 11.6 %	—	1.4 bis 2.3 m/s
Windgeschw.	: 2.4 m/s	II : 20.6 %	—	2.4 bis 3.8 m/s
		III/1 : 37.8 %	—	3.9 bis 6.9 m/s
		III/2 : 16.9 %	—	7.0 bis 10 m/s
		IV : 8.2 %	—	größer 10 m/s
		V : 4.9 %	—	

Abb. 4.6: Windrose für den Standort Mittermaierstraße in Heidelberg (Quelle: metSoft GbR)

Die vorliegenden Daten für die dem Untersuchungsgebiet nächstgelegenen Stationen sind auszugsweise in der **Tab. 4.3** aufgeführt. In Heidelberg liegen für die letzten Jahre Messwerte der verkehrsnahen Station Mittermaierstraße und der städtischen Station Heidelberg vor. Die Liste wird ergänzt um die Messwerte der benachbarten Stadt Mannheim mit einer städtischen Station (Mannheim Nord) und einer verkehrsnahen Station.

Die in **Tab. 4.3** aufgeführten Messdaten zeigen, dass die erfassten Konzentrationen nur für NO₂-Jahresmittelwerte an den verkehrsnahen Stationen über der in der 39. BImSchV genannten Konzentrationsschwelle liegen. Die erfassten Feinstaubkonzentrationen (PM10) der letzten Jahre, die auch in **Tab. 4.3** aufgenommen sind, lassen an den Messstationen in Heidelberg keine Konflikte mit den in der 39. BImSchV genannten Grenzwerten ablesen. Weiter ist festzustellen, dass an den städtischen Stationen die NO₂-Konzentrationen in den letzten Jahren geringe Änderungen aufweisen, während die PM10-Konzentrationen abgenommen haben. Das trifft auch auf PM2.5-Jahresmittelwerte an den umliegenden genannten Stationen zu, die in den letzten Jahren unter 18 µg/m³ lagen. Im Betrachtungsgebiet von Heidelberg lassen die Messdaten keine Konflikte mit dem Beurteilungswert für den Stundenwert der NO₂-Immissionen ableiten.

An den städtischen Stationen in Heidelberg und Mannheim wurde im letzten Jahr eine mittlere Ozonkonzentration von ca. 44 µg/m³ erfasst, die für die Anwendung des vereinfachten Chemiemoduls zur Berücksichtigung der NO-NO₂-Konversion herangezogen wird.

Schadstoffkomponente	Zeitraum	Heidelberg	HD Mittermaierstraße	Mannheim-Nord	Mannheim-Straße
NO ₂ Jahresmittel	2006	30	-	30	54
	2007	32	-	30	53
	2008	28	-	27	51
	2009	28	58	30	51
	2010	28	56	28	50
	2011	25	54	28	51
	2012	27	51	28	51
	2013	24	46	26	48
	2014	26	44	27	48
	2015	27	45	28	47
PM10 Jahresmittel	2006	26	-	23	33
	2007	22	-	22	28
	2008	19	-	19	25
	2009	22	30	21	28
	2010	22	30	21	28
	2011	20	28	21	28
	2012	18	-	19	26
	2013	20	-	19	26
	2014	18	-	18	25
	2015	19	-	19	25
PM10- Überschreitung (Anzahl der Tage über 50 µg/m ³)	2006	21	-	17	43
	2007	13	-	11	26
	2008	6	-	7	12
	2009	15	26	13	23
	2010	20	32	10	24
	2011	14	26	14	27
	2012	7	-	7	23
	2013	9	-	8	17
	2014	7	-	7	17
	2015	5	-	7	15

Tab. 4.3: Jahreskenngrößen der Luftschadstoff-Messwerte in µg/m³ an Messstationen in der Umgebung des Untersuchungsgebietes (LUBW, 2007-2016)

5 AUSWIRKUNGEN DER MASSNAHMEN

5.1 Auswirkungen auf die Emissionen

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 den Bereich der verkehrsnahen Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ in Heidelberg.

Ausgehend von den in Kap. 4 aufgeführten Emissionsfaktoren für den Bestand (2015) und die zeitliche Entwicklung der Flottenzusammensetzung werden folgend die Emissionen der genannten Streckenabschnitte für die Prognosejahre 2017, 2018, 2019 und 2020 aufgeführt. Weiter wird rechnerisch die in der Aufgabenstellung genannte Maßnahme „Blaue Plakettenregelung“ für die Jahre 2019 und 2020 aufgegriffen und hinsichtlich der Auswirkungen auf die Emissionen betrachtet.

Die Ergebnisse für die berechneten NO_x -Emissionen und die motorbedingten direkten NO_2 -Emissionen sind in **Abb. 5.1** dargestellt und ausgedrückt als Emissionsdichten in Milligramm pro Meter und Sekunde ($\text{mg}/(\text{m s})$) über den Straßenquerschnitt. In **Abb. 5.2** ist jeweils die relative Entwicklung der Emissionen bezogen auf den Referenzzustand 2015 als Prozentangabe aufgetragen.

Danach führt die zeitliche Entwicklung der Kfz-Flottenzusammensetzung bei vergleichbarer Verkehrsstärke zu einer Verringerung der verkehrsbedingten NO_x -Emissionen (**Abb. 5.1**, in **Tab. 5.1** sind die entsprechenden Zahlenwerte aufgeführt). Für 2017 ist eine Verringerung um ca. 7%, für 2018 um ca. 12%, für 2019 um ca. 17% und für 2020 um ca. 23% gegenüber dem Referenzfall 2015 in der Umweltzone berechnet. Würde der genannte Straßenabschnitt in den Bereich der Einführung einer „blauen Plakettenregelung“ fallen, können erhebliche Verringerungen der NO_x -Emissionen um ca. 45% im Jahr 2019 und um ca. 52% im Jahr 2020 erzielt werden (dabei wurden pauschal 20% Ausnahmeregelungen für betroffene Fahrten berücksichtigt, also keine vollständige Befolgung).

Für direkte NO_2 -Emissionen sind die Berechnungsergebnisse in **Abb. 5.1** und als relative Änderungen in **Abb. 5.2** dargestellt (in **Tab. 5.1** sind die entsprechenden Zahlenwerte aufgeführt). Die Emissionsminderungen umfassen für 2017 eine Verringerung um ca. 5%, für 2018 um ca. 10%, für 2019 um ca. 15%, für 2020 um ca. 21% und mit Einführung einer „blauen Plakettenregelung“ um ca. 56% bis 59% in den Jahren 2019 und 2020 gegenüber dem Referenzfall 2015 in der Umweltzone.

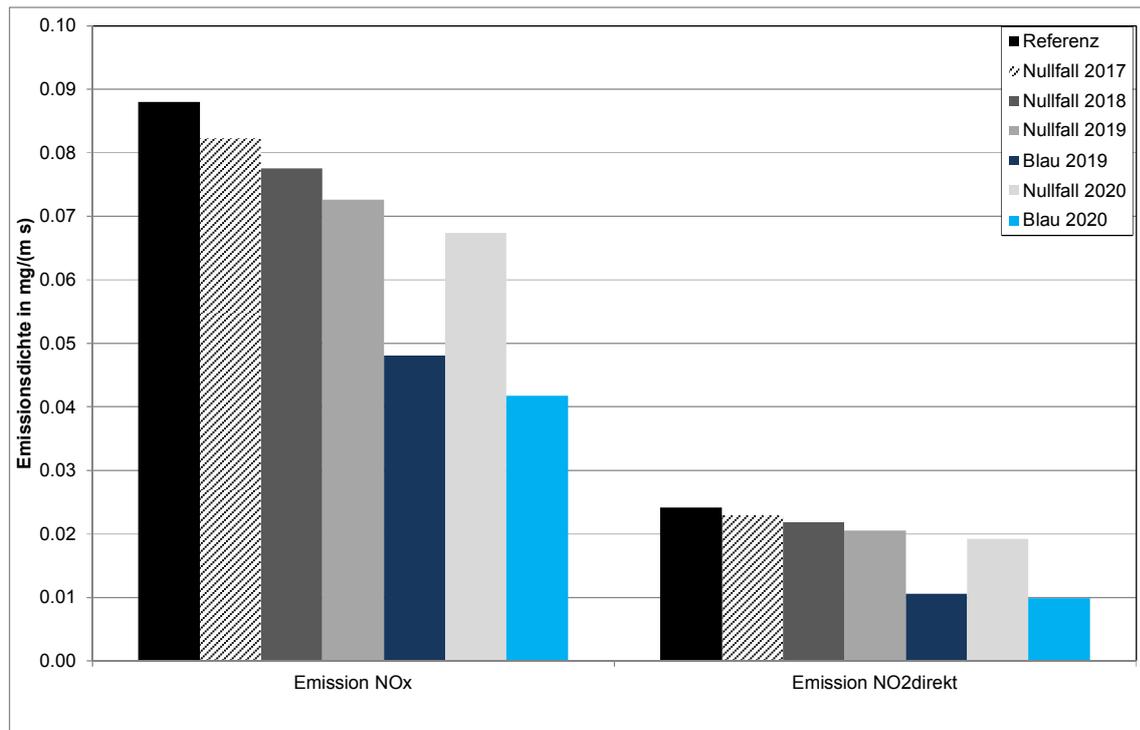


Abb. 5.1: NO_x-und direkte NO₂-Emissionen an der Mittermaierstraße in Heidelberg für die Jahre 2015, 2017, 2018, 2019, 2020 sowie für eine mögliche Einführung einer blauen Plakette 2019 und 2020

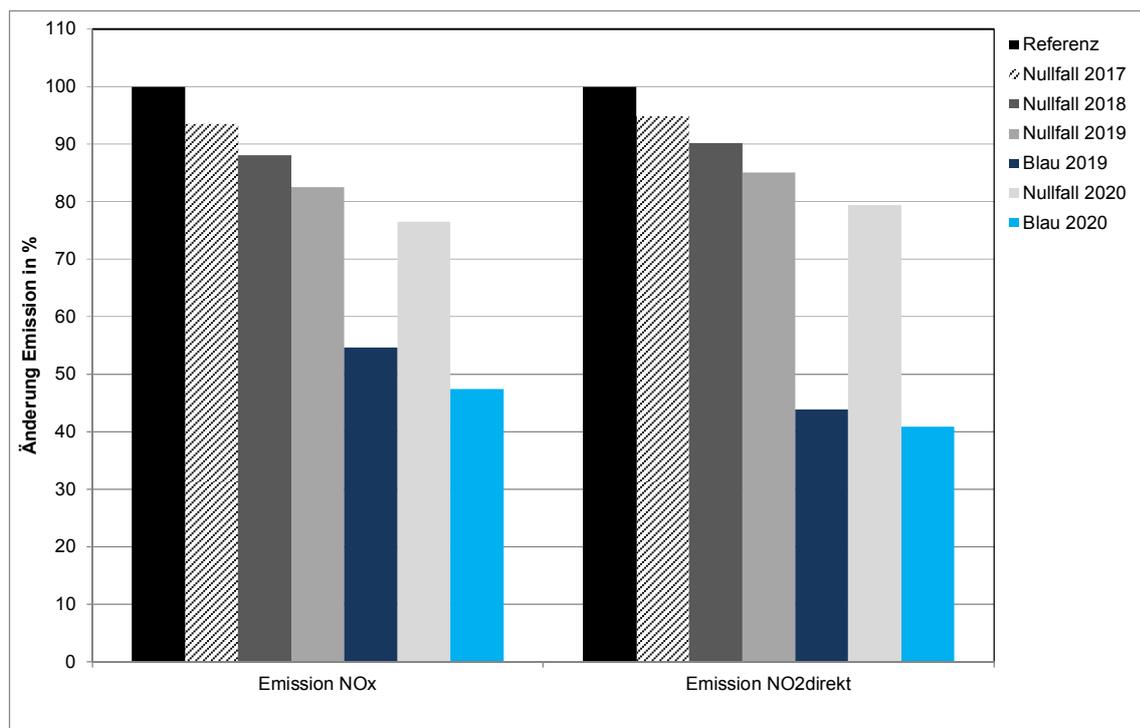


Abb. 5.2: Relative Änderung der NO_x-Emissionen an der Mittermaierstraße in Heidelberg für die Jahre 2015, 2017, 2018, 2019, 2020 sowie für eine mögliche Einführung einer blauen Plakette 2019 und 2020 bezogen auf den Referenzfall 2015 in %

	Emission NO _x		Emission NO ₂ direkt	
	mg/(m s)	Rel. %	mg/(m s)	Rel. %
Referenz	0.088	100.0	0.0242	100.0
Nullfall 2017	0.082	93.5	0.0229	94.8
Nullfall 2018	0.078	88.0	0.0218	90.1
Nullfall 2019	0.073	82.5	0.0206	85.0
Blau 2019	0.048	54.6	0.0106	43.9
Nullfall 2020	0.067	76.5	0.0192	79.4
Blau 2020	0.042	47.4	0.0099	40.9

Tab. 5.1: Emissionsdichte in mg/(m s) für die Mittermaierstraße und relativer Anteil zum Referenzfall in % für die betrachteten Szenarien (Werte zu **Abb. 5.1** und **Abb. 5.2**)

5.2 Auswirkungen auf die Immissionen

Mit den Daten der vorgestellten Emissionsermittlung für die Prognosejahre und Maßnahmen wurden Ausbreitungsrechnungen mit dem Straßennetzmodell 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 sowie den Einflüssen des emittierenden Straßennetzes zu erhalten. Für NO₂ wurde eine Hintergrundbelastung von 23 µg/m³ angesetzt.

Bei den Berechnungen wird die Randbebauung typisiert nach Straßenraumbreite, Bebauungshöhe und Lückigkeit für Abschnitte 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 den Straßenabschnitt der Mittermaierstraße im Bereich der Messstelle ein Rechenwert zugeordnet wird. Für feinere räumliche Auflösungen der berechneten Immissionen wäre der Einsatz eines mikroskaligen Rechenverfahrens mit Berücksichtigung von Gebäudeumströmungen erforderlich.

Die Ergebnisse werden zusammenfassend für die Mittermaierstraße und für den Standort der Messstelle Heidelberg, die nicht direkt an einer Hauptverkehrsstraße aber in der Nähe der Berliner Straße liegt, als absolute Werte und als relative Änderungen dargestellt, um die Auswirkungen der Maßnahme und der zeitlichen Entwicklungen der Kfz-Flotte auf die Gesamtbelastungen zu beschreiben.

Ausgehend von den in Kap. 5.1 beschriebenen Emissionsberechnungen für den Referenzzustand 2015, die Trendprognosen 2017 bis 2020 sowie die Einführung einer möglichen „blauen Plakettenregelung“ wurden Immissionsberechnungen für NO₂-Jahresmittelwerte durchgeführt. Dargestellt werden die NO₂-Gesamtbelastungen, wobei die in den Berechnungen angesetzte Hintergrundbelastung nicht variiert wird. Die NO₂-Immissionen werden in µg/m³ angegeben; der Grenzwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit wird in der 39. BImSchV mit 40 µg/m³ im Jahresmittel genannt.

Die zeitliche Entwicklung der Kfz-Flottenzusammensetzung führt bei vergleichbarer Verkehrsstärke zu einer Verringerung der verkehrsbedingten NO_x-Emissionen und wirkt sich auch verringern auf die Immissionen an dem verkehrsnahen Messstandort aus, wie in **Abb. 5.3** mit den berechneten NO₂-Immissionen in µg/m³ und in **Abb. 5.4** mit den daraus abgeleiteten relativen Anteilen in % bezogen auf den Referenzwert 2015 dargestellt ist (in **Tab. 5.2** sind die entsprechenden Zahlenwerte aufgeführt).

Mit den Immissionsberechnungen für den Referenzzustand 2015 werden die Messwerte gut nachgebildet. Für 2017 ist an dem verkehrsnahen Standort Mittermaierstraße eine Verringerung der NO₂-Gesamtbelastung um ca. 3% mit Konzentrationsänderungen um 1.2 µg/m³, für 2018 um ca. 5% mit Konzentrationsänderungen um 2.3 µg/m³ und für 2019 um ca. 8% mit Konzentrationsänderungen um 3.4 µg/m³ prognostiziert. Für das Jahr 2020 ist an den Standorten eine Verringerung der NO₂-Gesamtbelastung um ca. 10% mit Konzentrationsänderungen um 4.7 µg/m³ berechnet; an der Stadtstation Heidelberg führt die Netzwirkung zu einer Verringerung um ca. 3%, entsprechend 0.8 µg/m³. Mit der Einführung einer „blauen Plakettenregelung“ können erhebliche Verringerungen der NO₂-Immissionen um ca. 22% bis 25% in den Jahren 2019 und 2020 mit Konzentrationsänderungen um ca. 10 µg/m³ bis 11 µg/m³ erzielt werden; an der Stadtstation Heidelberg führt die Netzwirkung zu einer Verringerung um ca. 3%, entsprechend 1 µg/m³.

Damit wird entsprechend den Berechnungen bei vergleichbarer Verkehrsstärke am Standort der Spotmessstelle „Heidelberg Mittermaierstraße“ eine Überschreitung der Schwelle der NO₂-Konzentration von 40 µg/m³ ab dem Jahr 2020 vermieden. Weiter ermöglicht die weitgehende Maßnahme „blaue Plakette“ eine NO₂-Konzentration unter 40 µg/m³.

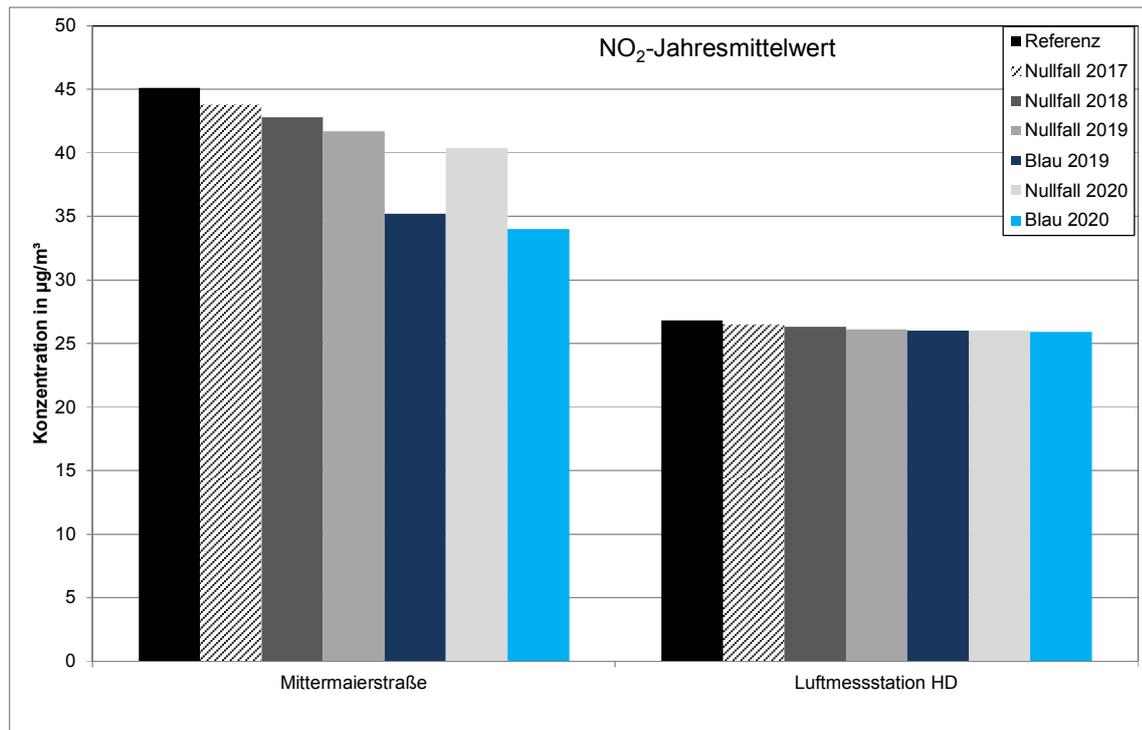


Abb. 5.3: NO₂-Immissionen an ausgewählten Standorten in Heidelberg für die Jahre 2015, 2017, 2018, 2019, 2020 sowie für eine mögliche Einführung einer blauen Plakette 2019 und 2020

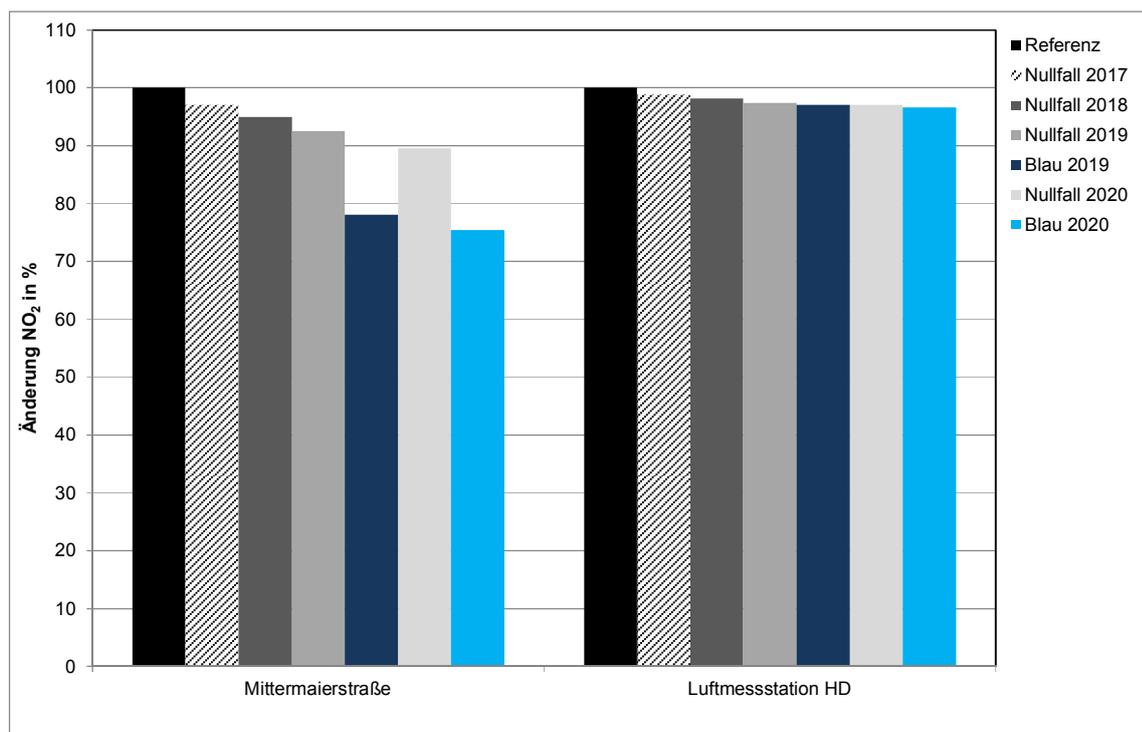


Abb. 5.4: Relative Änderung der NO₂-Immissionen an ausgewählten Standorten in Heidelberg für die Jahre 2015, 2017, 2018, 2019, 2020 sowie für eine mögliche Einführung einer blauen Plakette 2019 und 2020 bezogen auf den Referenzfall 2015 in %

	Mittermaierstraße		Luftmessstation HD	
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rel. %	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Rel. %
Referenz	45.1	100.0	26.8	100.0
Nullfall 2017	43.8	97.1	26.5	98.9
Nullfall 2018	42.8	94.9	26.3	98.1
Nullfall 2019	41.7	92.5	26.1	97.4
Blau 2019	35.2	78.0	26	97.0
Nullfall 2020	40.4	89.6	26	97.0
Blau 2020	34.0	75.4	25.9	96.6

Tab. 5.2: NO_2 -Immissionen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für die Standorte Mittermaierstraße und Heidelberg-Stadt sowie relativer Anteil zum Referenzfall in % für die betrachteten Szenarien (Werte zu **Abb. 5.3** und **Abb. 5.4**)

Aufbauend auf den beschriebenen Ergebnissen der Emissionsberechnung und der Immissionsberechnung kann geschlossen werden, dass an der Mittermaierstraße gegenüber dem Referenzfall eine Verringerung des Beitrags des motorisierten Kfz-Verkehrs um mindestens 23% erforderlich ist, um den in der 39. BImSchV genannten NO_2 -Immissionswert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht zu überschreiten. Dies trifft beispielsweise auf den Nullfall 2020 zu.

Solch intensive Minderungen der Beiträge des Kfz-Verkehrs lassen sich beispielsweise mit der Einschränkung der Fahrten mit Dieselmotoren schlechter EURO 6 erreichen, wie vorliegend mit dem Ansatz einer blauen Plakettenregelung betrachtet wurde. Eine entsprechende Minderung wäre ab dem Jahr der Einführung solch einer Plakettenregelung erreichbar, beispielsweise schon ab dem Jahr 2017.

Mit den Ergebnissen der Emissions- und Immissionsberechnungen für die Prognosejahre 2018 bis 2020 ohne weitere Eingriffe in den Kfz-Verkehr und mit gleichbleibender Verkehrsstärke auf der Mittermaierstraße wurde abgeleitet, dass vor dem Jahr 2020 noch Überschreitungen des NO_2 -Immissionswertes von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu erwarten sind.

Sofern der Verkehr nur auf der Mittermaierstraße zwischen der Bergheimer Straße (nördlich) und der Kurfürstenanlage (südlich) verringert werden könnte, wäre bei angenommenem vergleichbaren Verkehrsfluss eine entsprechende Reduzierung der Verkehrsstärke um 16% im Jahr 2018 erforderlich. Das entspricht einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke von 17 371 Kfz/24h und einer Reduktion der NO_x -Emissionen in der Mittermaierstraße um

ca. 26% gegenüber dem Referenzfall. Die erforderliche Emissionsreduktion für die Mittermaierstraße ist bei diesem Szenario höher gegenüber der im Nullfall 2020 abgeleiteten, da sich die Wirkung nur auf einen kleinen Abschnitt der Mittermaierstraße bezieht und das restliche Straßennetz hinsichtlich der Emissionen weitgehend unverändert bleibt. Bei diesen Ableitungen der erforderlichen Verringerungen des Verkehrsaufkommens wird in erster Näherung ein unveränderter Verkehrsfluss angenommen; für die Beschreibung der Auswirkungen der angesprochenen Verkehrsreduktion auf den Verkehrsablauf sind verkehrliche Untersuchungen erforderlich.

Für die Mittermaierstraße wäre im Jahr 2019 eine verkehrliche Reduktion um ca. 9% erforderlich. Das entspricht bei angenommenem vergleichbarem Verkehrsfluss einer durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke von 18 819 Kfz/24h und einer Reduktion der NO_x-Emissionen in der Mittermaierstraße um ca. 24% gegenüber dem Referenzfall.

6 LITERATUR

39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV). BGBl I, Nr. 40, S. 1065-1104 vom 05.08.2010.
- Hausberger, S. (2016): Angaben zu möglichen Korrekturfaktoren für Diesel-PKW Euro6 für die Emissionsfaktoren des HBEFA3.2. Persönliche Mitteilung.
- INOVAPLAN (2014): Verkehrserhebung und Kennzeichenerfassung Neuenheim, Stadt Heidelberg“. Im Auftrag der Stadt Heidelberg, Amt für Verkehrsmanagement. Bearbeitung: INOVAPLAN GmbH, Karlsruhe, August 2014.
- KBA (2015): Fahrzeugzulassungen (FZ), Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken 1. Januar 2015. Kraftfahrtbundesamt, Flensburg, April 2015.
- KBA (2016): Fahrzeugzulassungen (FZ), Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken 1. Januar 2016. Kraftfahrtbundesamt, Flensburg, April 2016.
- Ketzel, M., Berkowicz, R., Lohmeyer, A. (1999): Dispersion of traffic emissions in street canyons: Comparison of European numerical models with each other as well as with results from wind tunnel and field measurements. In: 2nd Int. Conf. On Urban Air Quality, Madrid, Spain, organised by Institute of Physics, Conference Department, 76 Portland Place, London, W1N 3DH, UK.
- 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.
- LUBW (2007-2016): Kenngrößen der Luftqualität 2006 bis 2015. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- metSoft (2016): Synthetische Ausbreitungsklassenzeitreihe (E3476500-N5474500_SynRep). Herausgeber: metSoft GbR Heilbronn.
- 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). "<http://bwplus.fzk.de>"
- Schmidt, G., Thomas, B. (1996): Hochrechnungsfaktoren für manuelle und automatische Kurzzeitzählungen im Innerortsbereich (FE-Nr. 77 224/93). Bericht der Fa. Heusch Boesefeldt GmbH, Aachen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bonn.

- TREMODO (2010): TREMOD – Transport Emission Model: Fortschreibung und Erweiterung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030". Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3707 45 101, Version 5.1, ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. 2010.
- UBA (2014): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Version 3.2 / Juli 2014. Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin. www.hbefa.net.
- VDI (2003): Umweltmeteorologie. Kfz-Emissionsbestimmung. Luftbeimengungen. Richtlinie VDI 3782, Blatt 7. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN, Düsseldorf, November 2003.

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

A1 BESCHREIBUNG DES NUMERISCHEN VERFAHRENS ZUR IMMISSIONS- ERMITTLUNG UND FEHLERDISKUSSION

Für die Berechnung der Schadstoffimmission an einem Untersuchungspunkt kommt das Berechnungsverfahren 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.

Für Jahresmittelwerte wird die NO-NO₂-Konversion mit einem vereinfachten Chemiemodell berücksichtigt (Düring et al., 2011).

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 fahrzeuginduzierten Turbulenz [m/s]

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

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

Tab. A1.1: Typisierung der Straßenrandbebauung

A1.3 Fehlerdiskussion

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

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

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

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

Hinsichtlich der Fehlerabschätzung für die KFZ-Emissionen ist anzufügen, dass die Emissionen im Straßenverkehr bislang nicht direkt gemessen, sondern über Modellrechnungen der Basisdaten (d.h. Verkehrsmengen, Emissionsfaktoren, Fahrleistungsverteilung, Verkehrsablauf).

Nach BAST (1986) liegt die Abweichung von manuell gezählten Verkehrsmengen (DTV) gegenüber simultan erhobenen Zählraten 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.