Fortschreibung Luftreinhalteplan Mannheim: emissions- und immissionsseitige Auswirkungen von verkehrlichen Maßnahmen

Auftraggeber: Regierungspräsidium Karlsruhe
Referat 54.1
76247 Karlsruhe

Durchführung: Ingenieurbüro Rau
Bottwarbahnstraße 4
D-74081 Heilbronn

AVISO GmbH
Am Hasselholz 15
D-52074 Aachen

Heilbronn, 28. Oktober 2016

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung 1

2 Untersuchungsgebiet 3

3 Verkehrsdaten 5

4 Grundlagen der Emissionsberechnung 5

4.1 Flottenzusammensetzung 6

4.2 Verkehrssituation nach HBEFA3.2 6

4.3 Emissionsfaktoren 7

5 Emissionen des Kfz-Verkehrs 8

5.1 Trendentwicklung 2015-2020 8

5.2 Maßnahme blaue Umweltzone 9

6 Immissionsermittlung 11

6.1 Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM 11

6.2 Modellvorgaben für die Untersuchungsgebiete 11

6.3 Meteorologie 14

6.4 Bestimmung der Gesamtbelastung 15

6.4.1 Hintergrundbelastung 15

6.4.2 Jahresmittelwerte 16

6.4.3 Kurzzeitwerte 17

7 Ergebnisauswertung 18

7.1 Grenzwerte der 39. BImSchV 18

7.2 Darstellung der Ergebnisse für die Umgebung der Verkehrsmessstelle Mannheim-Friedrichsring 18

7.3 Vergleich des Berechnungsergebnisses mit der Messung 18

7.4 Trendentwicklung 2015 bis 2020 20

7.5 Maßnahme blaue Umweltzone 20

7.6 Notwendige Reduktion der Verkehrsbelastung zur Einhaltung des Grenzwertes 21

8 Zusammenfassung 22

9 Literaturverzeichnis 23

10 Anhang 25

10.1 Anhang 1: Zur Verfügung gestellte und aufbereitete Verkehrszähldaten 26

10.2 Anhang 2: Ergebnisse der Emissionsberechnungen für den Hotspot Friedrichsring.....28

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Mannheim: Gebiet um die Verkehrsmessstelle Mannheim-Friedrichsring. Quelle: Topografische Karte und Luftbilder, Umwelt-Daten und Karten online (UDO), Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de 4

Abb. 2-2: Verkehrsmessstation Mannheim-Friedrichsring: Lageplan und Ansicht; /LUBW 2014/.4

Abb. 5-1: Anteile der Fahrzeugarten am DTV [Kfz/24h] und an den NO_X-Emissionen [kg/(km*a)] an der Verkehrsmessstelle Friedrichsring 9

Abb. 5-2: Anteile der Fahrzeugarten am DTV [Kfz/24h] und den NO_X-Emissionen an der Verkehrsmessstelle Friedrichsring für die Maßnahme blaue Umweltzone im Jahr 2019. 10

Abb. 6-1: Lage des Untersuchungsgebietes Mannheim-Friedrichsring mit Rechengebiet (rot) und Auswertegebiet (blau). Quelle: Topografische Karte und Luftbilder, Umwelt-Daten und Karten online (UDO), Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de 13

Abb. 6-2: Verteilung der Windrichtungen und der Windgeschwindigkeiten der für das Untersuchungsgebiet gewählten synthetischen Ausbreitungsklassenstatistik. 14

Abb. 7-1: Berechnete NO_2-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für das Basisjahr 2015; Horizontalschnitt in 1,4 m Höhe über Geländeniveau. 19

Abb. 7-2: Prognose der NO_2-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für das Trendjahr 2020; Horizontalschnitt in 1,4 m Höhe über Geländeniveau. 19

Abb. 7-3: Trendentwicklung 2015 bis 2020: NO_2-Jahresmittelwerte an der Verkehrsmessstelle Mannheim-Friedrichsring.....20

Abb. 7-4: Maßnahme Blaue Umweltzone: Entwicklung der NO_2-Jahresmittelwerte an der Verkehrsmessstelle Mannheim-Friedrichsring.....21

Tabellenverzeichnis

Tab. 5-1: NO_x-Emissionen an der Verkehrsmessstelle Friedrichsring für das Basisjahr 2015 und Vergleich der NO_X-Emissionen für die Jahre 2018 bis 2020 mit 2017 8

Tab. 5-2: Vergleich der NO_X-Emissionen für das Jahr 2019 grüne Umweltzone mit 2019 blaue Umweltzone an der Verkehrsmessstelle Friedrichsring. 10

Tab. 6-1: NO_2-Hintergrundbelastungswerte für das Untersuchungsgebiet. 16

Tab. 7-1: Lufthygienische Grenzwerte der 39. BImSchV für NO_2. 18

1 Aufgabenstellung

An der Verkehrsmessstelle Friedrichsring in Mannheim lag wie in den Jahren zuvor auch im Jahr 2015 der NO_2-Jahresmittelwert mit 47 µg/m³ deutlich über dem Grenzwert für das Jahresmittel. Alle anderen Grenzwerte der 39. BImSchV wurden eingehalten. Das Regierungspräsidium Karlsruhe muss aus diesem Grund den Luftreinhalteplan für den Regierungsbezirk Karlsruhe, Teilplan Mannheim, fortschreiben.

Zur Vorbereitung der Fortschreibung sollen folgende Fragestellungen beantwortet werden:

A) Welcher Jahresmittelwert für NO_2 wird in den Jahren 2017, 2018, 2019 und 2020 an der Verkehrsmessstelle Friedrichsring erreicht sein, wenn keine weitere Maßnahme ergriffen wird? („Trendprognose“).
   Wann wird der Jahresmittelwert für NO_2 von 40 µg/m³ dort eingehalten?

B) Welche Wirkung hat folgende Maßnahme auf den Jahresmittelwert für NO_2 an der Verkehrsmessstelle Friedrichsring in den Jahren 2019 und 2020?
   Einführung einer Umweltzone auf der Fläche der vorhandenen Umweltzone mit der Maßgabe, dass ab dem 01.01.2019 nur noch Fahrzeuge mit der blauen Plakette die Umweltzone befahren dürfen („blaue Umweltzone“).
   Wann wird der Jahresmittelwert für NO_2 von 40 µg/m³ mit dieser Maßnahme dort eingehalten?

C) Um wieviel Prozent muss das durchschnittliche motorisierte (Straßen-) Verkehrsaufkommen weiter reduziert werden, damit der Jahresmittelwert für NO_2 von 40 µg/m³
   a) In den Jahren 2018, 2019 bzw. 2020 eingehalten werden kann, wenn keine weitere Maßnahme umgesetzt wird?
   b) In den Jahren 2019 bzw. 2020 eingehalten werden kann, wenn eine „blaue Umweltzone“, wie sie unter B beschrieben wird, ab dem 01.01.2019 eingeführt wird?

Folgende Definition für die blaue Umweltzone wird dabei den Berechnungen zugrunde gelegt:

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

Als Referenzzustand wird das Basisjahr 2015 mit grüner Umweltzone gewählt. Auf der Basis der zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten werden in einem ersten Schritt mit den Emissionsfaktoren des Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA, Version 3.2) die Emissionen für die zu untersuchenden Fälle berechnet. Berücksichtigt werden der Friedrichsring sowie die direkt angrenzenden Streckenabschnitte. Darauf aufbauend werden in einem zweiten Schritt mit einem mikroskaligen prognostischen Modell die Immissionskonzentrationen an der Messstelle für die zu untersuchenden Fälle berechnet. Betrachtet wird laut Aufgabenstellung nur der Schadstoff NO_2. Die berechneten NO_2-Immissionskonzentrationen werden schließlich anhand der Grenzwerte der 39. BImSchV bewertet.

Das Gutachten ist folgendermaßen gegliedert:

In Kapitel 2 wird das zu betrachtende Untersuchungsgebiet kurz beschrieben. Kapitel 3 fasst die Verkehrsdatenbasis zusammen. Kapitel 4 umfasst die Darstellung der Grundlagen der Emissionsermittlung, bevor in Kapitel 5 auf die eigentliche Emissionsermittlung eingegangen wird. In Kapitel 6 wird die Vorgehensweise bei den Immissionsberechnungen erläutert. In Kapitel 7 werden die Ergebnisse dargestellt und im Bezug zu den maßgebenden Grenzwerten bewertet. Dieses Kapitel beinhaltet auch die Beantwortung der gestellten Fragen bzgl. einer notwendigen Reduzierung des Verkehrs zum heutigen Zeitpunkt zur Einhaltung der Grenzwerte sowie des Zeithorizonts, bis zu dem die Immissionswerte unter Berücksichtigung der mit den in HBEFA hinterlegten Emissionsfaktoren prognostizierten Emissionsentwicklungen eingehalten werden können. Kapitel 8 fasst die Ergebnisse kompakt zusammen.

2 Untersuchungsgebiet

Das Stadtgebiet von Mannheim liegt im Norden Baden-Württemberg im Oberrheingraben und ist weitgehend eben. Im Süden und Westen wird das Stadtgebiet durch den Rhein begrenzt. Der Friedrichsring und der Luisenring stellen eine bedeutende Verkehrsader dar; sie umschließen den Kernstadtbereich ringförmig zwischen dem Rhein im Südwesten und dem Neckar im Norden; am Kurpfalzkreisel laufen diese beiden Ringstraßen zusammen und leiten die von Süden kommenden Verkehre über die Kurpfalzbrücke nach Norden ab. Die Verkehre der Bundesstraßen B36, B38 und B44 verlaufen teilweise über diese beiden Straßenzüge.

Die Verkehrsmessstation Mannheim-Friedrichsring befindet sich an der Ecke Friedrichsring/U2 direkt vor einer Schule. Die Messstation steht auf dem Randstreifen zwischen Bürgersteig und Straße. Der Friedrichsring ist vierspurig, wobei die beiden je zweispurigen Richtungsfahrbahnen durch die Stadtbahngleise getrennt werden.

Die Abb. 2-1 zeigt eine Luftbildaufnahme der Umgebung der Messstation. Eine Detailaufnahme der Messstelle ist dem Grundlagenband der LUBW entnommen /LUBW 2014/ und in Abb. 2-2 dargestellt.

Abb. 2-1: Mannheim: Gebiet um die Verkehrsmessstelle Mannheim-Friedrichsring. Quelle: Topografische Karte und Luftbilder, Umwelt-Daten und Karten online (UDO), Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de .

Abb. 2-2: Verkehrsmessstation Mannheim-Friedrichsring: Lageplan und Ansicht; /LUBW 2014/.

3 Verkehrsdaten

Datenbasis für die Verkehrsdaten bildeten zunächst die Werte des landesweiten Emissionskatasters Kfz-Verkehr /AVISO 2013/. Zusätzlich wurden seitens der Stadt Mannheim Daten von Verkehrszählungen an den angrenzenden Knotenpunkten (s. Anhang 1) zur Verfügung gestellt. Diese wurden auf jahresmittlere Verkehrsstärken hochgerechnet und zur Aktualisierung der Verkehrsbelastung auf dem Friedrichsring in Höhe der Messstation und auch auf den umliegenden Straßen verwendet.

An der Verkehrsmessstelle Friedrichsring liegt die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) des Jahres, die aus den zeitlich begrenzten Zähldaten (s. Anhang 1) hochgerechnet wurde, bei knapp 31.000 Kfz/Tag (darin sind auch Ferien und Feiertage berücksichtigt). Der Anteil der leichten Nutzfahrzeuge liegt bei 4 %, der der schweren Nutzfahrzeuge bei 2,1 %. Eine Überprüfung ergab, dass in diesem Bereich nur eine geringe Busbelastung vorliegt, da im betrachteten Abschnitt auch die Straßenbahnlinie entlangführt. Die den Emissionsberechnungen zugrunde gelegten Verkehrsdaten und die jeweiligen Anteile der Fahrzeugarten sind in Anhang 2 aufgeführt.

Nach Angaben der /RHEIN-NECKAR-VERKEHR GMBH 2016/ kann davon ausgegangen werden, dass die Verkehrsbelastung am Friedrichsring mit der Inbetriebnahme der Stadtbahn Mannheim-Nord zum Fahrplanwechsel am 12.06.2015 um ca. 300 Pkw pro Tag sinken wird. Diese Reduktion wurde auf den Friedrichsring und anteilig auf das umliegende Straßennetz übertragen und ab dem Jahr 2016 berücksichtigt. Das Straßennetz aus dem Landesemissionskataster enthält die klassifizierten Bundes-, Land- und Kreisstraßen und Gemeindestraßen. Die i.d.R. gering belasteten sonstigen Straßen sind dort nicht enthalten. Nach Prüfung der Verkehrsbelastungen wurde das Netz um weitere Strecken im Einflussbereich der Messstation ergänzt.

4 Grundlagen der Emissionsberechnung

Wesentliche Datengrundlage zur Ermittlung der Emissionen stellt das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs aktuell in der Version 3.2 (HBEFA3.2) dar /HBEFA 2014/.

Die HBEFA3.2-Datenbank enthält pro Fahrzeugart für jede einzelne Fahrzeugschicht (unterschieden nach Motorkonzept, Euronormstufe, Hubraum, Gewichtsklasse, etc.) pro Verkehrssituation sogenannte Schichtemissionsfaktoren für verschiedene Abgaskomponenten. Die Schichtemissionsfaktoren geben die charakteristischen spezifischen Abgasemissionen für die betrachtete Verkehrssituation in g/(Fzg*km) an. Diese Schichtemissionsfaktoren wurden im Rahmen umfangreicher europäischer Projekte ermittelt, wobei zunächst typische Real-World-

Fahrzyklen definiert und daraus die sogenannten Verkehrssituationen abgeleitet worden waren (vgl. z.B. /HAUSBERGER 2010, HAUSBERGER 2014/).

In HBEFA3.2 sind zur Ermittlung der Emissionsfaktoren je Fahrzeugart typische bundesmittlere Flottenzusammensetzungen für Autobahn, Außerortsstraßen oder Innerortsstraßen hinterlegt.

Da sich aber die Flottenzusammensetzung regional insbesondere für die Pkw und lNfz durchaus von der bundesmittleren Flottenzusammensetzung unterscheiden kann, wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchung für die Pkw und lNfz eine regionale Flottenzusammensetzung berücksichtigt.

Da die Emissionen für das Analysejahr 2015 für Mannheim zu ermitteln waren, wurden der Berechnung die charakteristischen Emissionsfaktoren der Flottenzusammensetzung 2015 zugrunde gelegt.

4.1 Flottenzusammensetzung

Die Daten zur Flottenzusammensetzung (dynamischer Bestand) basieren auf der Datengrundlage des landesweiten Emissionskatasters Straßenverkehr /AVISO 2013/, die pro Zulassungsbereich und Bezugsjahr Daten zum dynamischen Bestand enthält. Für die Fahrzeuggruppen Pkw und lNfz sind dort die Bestandsdaten der Zulassungsbezirke berücksichtigt, aus denen mittels einer Fahrleistungsgewichtung die Flottenzusammensetzung für Innerortsstraßen abgeleitet worden war.

Das Emissionsverhalten von schweren Nutzfahrzeugen wird stärker vom überregionalen als vom regionalen Bestand bestimmt. Daher wurde für die schweren Nutzfahrzeuge die aktuelle bundesmittlere Flottenzusammensetzung aus HBEFA3.2 für das Bezugsjahr 2015 verwendet.

Die entsprechenden Daten zur Flottenzusammensetzung für die Jahre 2015 bis 2020 wurden von der LUBW übernommen.

4.2 Verkehrssituation nach HBEFA3.2

Die Schichtemissionsfaktoren sind in HBEFA3.2 für unterschiedliche Fahr-/Straßen- und Verkehrszustände angegeben. Diese wurden in einem Schema von Verkehrssituationen kategorisiert. Für die Emissionsberechnung war es notwendig, jedem Streckenabschnitt eine Hauptverkehrssituation zuzuordnen. Diese Hauptverkehrssituationen wurden aus dem Netzmodell des Landesemissionskatasters übernommen und auf Plausibilität überprüft. Sofern aktuellere Informationen vorlagen, wurden die Angaben des Landesemissionskatasters an diese angepasst.

Neben der Hauptverkehrssituation ist der Störungsgrad im Verkehrsablauf (Level of Service) zur vollständigen Bestimmung der Verkehrssituation notwendig. Dieser wurde über die Berechnung

des Tagesgangs der Verkehrsstärken und des stündlichen Auslastungsgrades stundenfein abgeleitet.

4.3 Emissionsfaktoren

Die Abgas-Emissionsfaktoren für NO_X wurden unter Berücksichtigung der oben aufgeführten Annahmen zur Bestands- und Flottenzusammensetzung und der Schichtemissionsfaktoren aus HBEFA3.2 für die Fahrzeugarten Pkw, lNfz, sNfz ermittelt.

Es wurden die Emissionsfaktoren zur Beschreibung der Trendentwicklung 2017 bis 2020 ermittelt. Diese berücksichtigen die existierende grüne Umweltzone.

Zusätzlich wurde Emissionsfaktoren für 2015 ermittelt, um immissionsseitig einen Vergleich mit dem Messwert zu ermöglichen.

Außerdem wurden Emissionsfaktoren für die Maßnahme blaue Umweltzone berechnet. Dafür wurden zusätzlich alle Otto-Fahrzeuge schlechter Euro 3 und alle Dieselfahrzeuge schlechter Euro 6/VI ausgesperrt (siehe Kapitel 1) und die Flotte anschließend wieder auf 100% normiert (d.h. die verbleibenden Flottenanteile wurden entsprechend ihrem Anteil an der Gesamtflotte umgeschichtet), wobei Ausnahmen von 20% bei Einführung, degressiv abnehmend in den Folgejahren, berücksichtigt wurden.

5 Emissionen des Kfz-Verkehrs

5.1 Trendentwicklung 2015-2020

Unter Verwendung der in Kap. 3 dargestellten Verkehrsdatenbasis und der in Kap. 4 beschriebenen NO_X-Emissionsfaktoren wurden die Emissionen berechnet. Die pro Tagesgruppe ermittelten stündlichen Emissionen wurden zu Jahreswerten aggregiert.

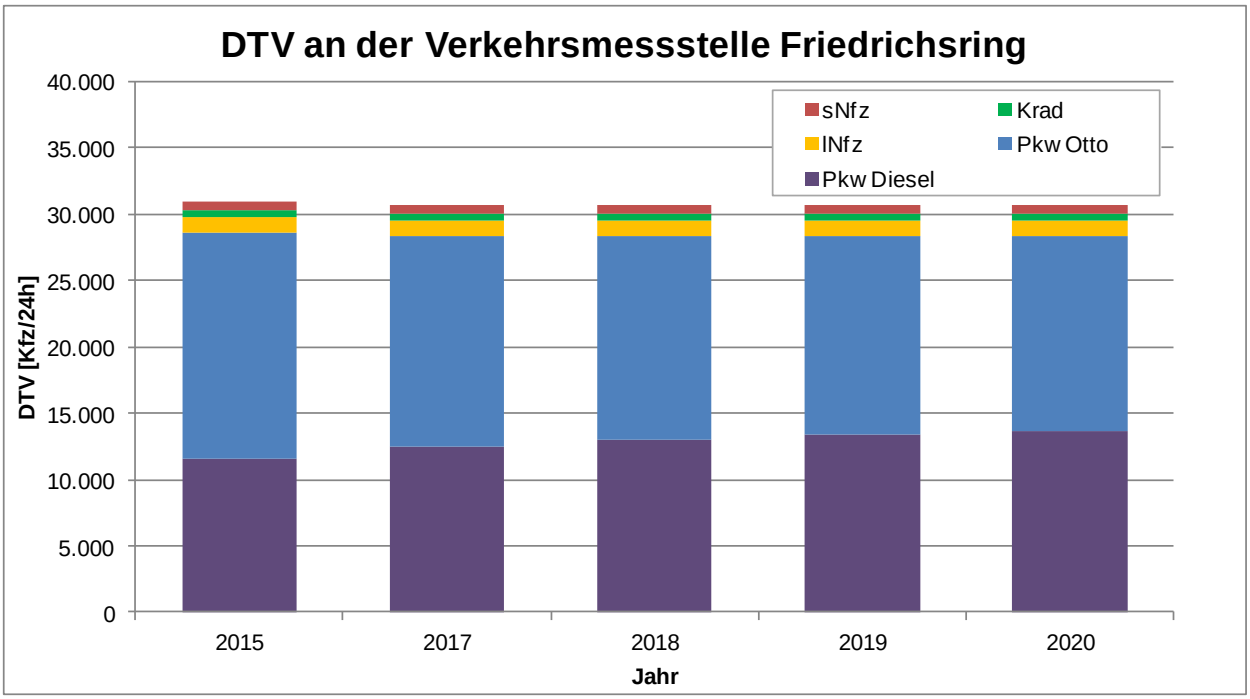
Die Berechnung wurde für die Trendentwicklung 2015 bis 2020 durchgeführt.

In der folgenden Tabelle sind die NO_X-Jahresemissionen im Bereich der Verkehrsmessstelle Friedrichsring für das Basisjahr 2015 aufgeführt. Des Weiteren sind die Emissionen der Jahre 2018 bis 2020 mit dem Jahr 2017 verglichen. Es zeigt sich, dass die NO_X-Emissionen (alle Kfz) bis zum Jahr 2020 gegenüber dem Jahr 2017 um knapp 24% sinken.

Tab. 5-1: NO_x-Emissionen an der Verkehrsmessstelle Friedrichsring für das Basisjahr 2015 und Vergleich der NO_X-Emissionen für die Jahre 2018 bis 2020 mit 2017

		Pkw Diesel	Pkw Otto	lNfz	Krad	sNfz	Kfz
NO_X 2015	[kg/(km*a)]	2.287,52	874,29	245,55	16,79	709,15	4.133,30
NO_X 2017	[kg/(km*a)]	2.158,42	720,50	223,72	16,46	482,63	3.601,73
NO_X 2018	[kg/(km*a)]	2.043,80	635,34	189,56	16,10	408,90	3.293,69
Diff. zu 2017	*[%]*	*-5,3%*	*-11,8%*	*-15,3%*	*-2,2%*	*-15,3%*	*-8,6%*
NO_X 2019	[kg/(km*a)]	1.901,55	582,79	159,60	15,67	339,40	2.999,01
Diff. zu 2017	*[%]*	*-11,9%*	*-19,1%*	*-28,7%*	*-4,8%*	*-29,7%*	*-16,7%*
NO_X 2020	[kg/(km*a)]	1.753,52	536,62	136,66	15,29	301,12	2.743,21
Diff. zu 2017	*[%]*	*-18,8%*	*-25,5%*	*-38,9%*	*-7,1%*	*-37,6%*	*-23,8%*

Die Anteile der einzelnen Fahrzeugarten (bei Pkw zusätzlich differenziert nach Diesel und Otto) am DTV (durchschnittlicher täglicher Verkehr) und an den NO_X-Emissionen sind der folgenden Darstellung zu entnehmen. Detaillierte Ergebnisse der Emissionsberechnungen werden im Anhang tabellarisch aufgeführt.



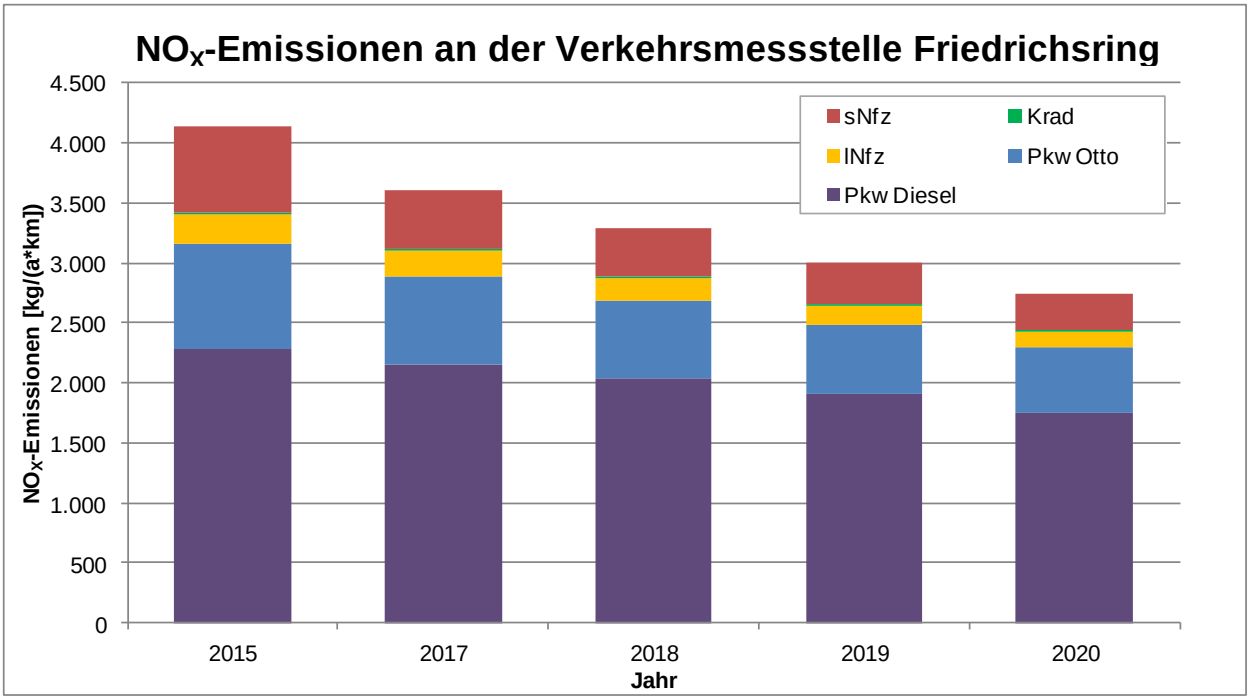


Abb. 5-1: Anteile der Fahrzeugarten am DTV [Kfz/24h] und an den NO_X-Emissionen [kg/(km*a)] an der Verkehrsmessstelle Friedrichsring

5.2 Maßnahme blaue Umweltzone

Neben den Emissionen für die Trendentwicklung 2015-2020 wurden auch die Emissionen für den Maßnahmenfall „blaue Umweltzone“ berechnet. Dieser Berechnung wurden die in Kap. 4.3 erläuterten Emissionsfaktoren zugrunde gelegt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle aufgeführt und den Ergebnissen für das Jahr 2019 (mit bereits bestehender grüner Umweltzone) gegenübergestellt. Es zeigt sich eine Abnahme der NO_X-Emissionen durch die

Maßnahme von knapp 47%. Die Emissionen der Diesel-Pkw nehmen um knapp 58% ab, liegen damit jedoch immer noch 46% über den Emissionen der Otto-Pkw.

Tab. 5-2: Vergleich der NO_X-Emissionen für das Jahr 2019 grüne Umweltzone mit 2019 blaue Umweltzone an der Verkehrsmessstelle Friedrichsring.

		Pkw Diesel	Pkw Otto	lNfz	Krad	sNfz	Kfz
NO_X 2019 grüne UZ	[kg/(km*a)]	1.901,55	582,79	159,60	15,67	339,40	2.999,01
NO_X 2019 blaue UZ	[kg/(km*a)]	802,02	550,72	81,32	15,67	141,48	1.591,20
Diff.	*[%]*	-57,8%	-5,5%	-49,0%	0,0%	-58,3%	-46,9%

Die Anteile der einzelnen Fahrzeugarten (bei Pkw zusätzlich differenziert nach Diesel und Otto) am DTV und an den NO_X-Emissionen sind der folgenden Darstellung zu entnehmen.

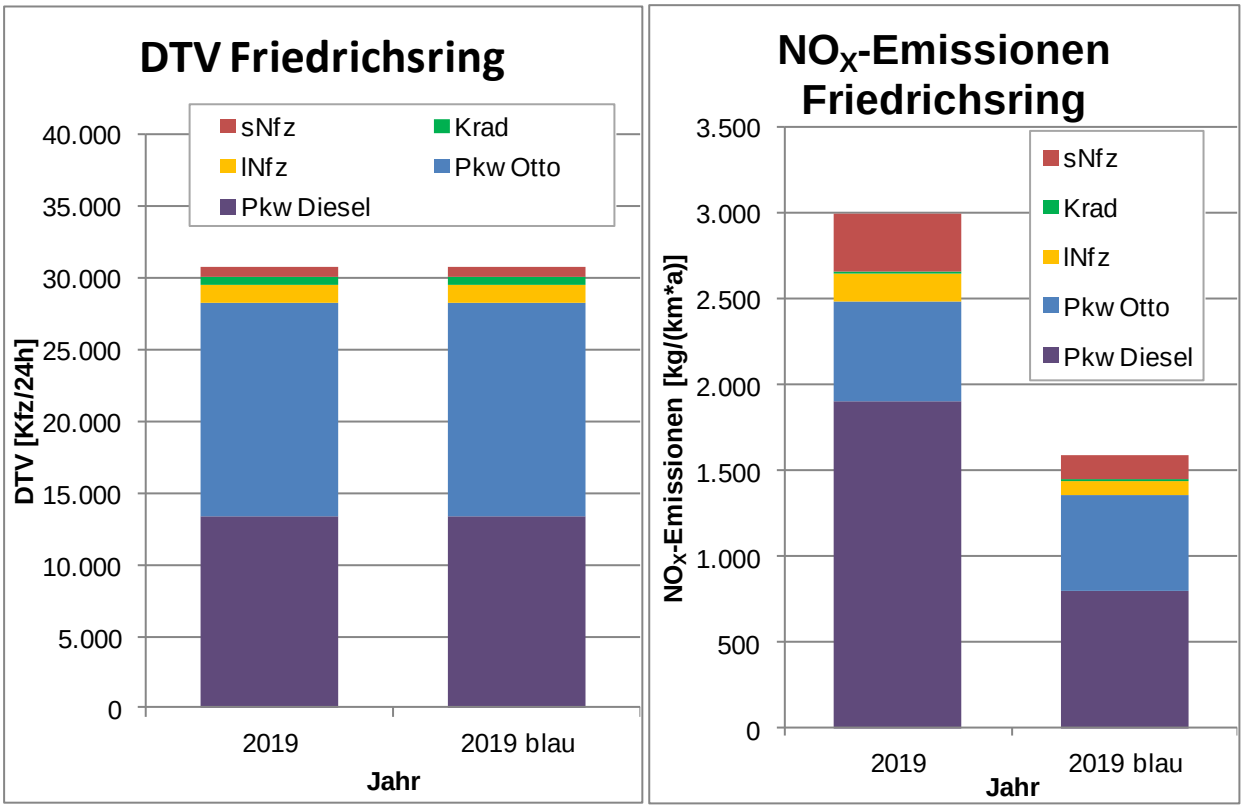


Abb. 5-2: Anteile der Fahrzeugarten am DTV [Kfz/24h] und den NO_X-Emissionen an der Verkehrsmessstelle Friedrichsring für die Maßnahme blaue Umweltzone im Jahr 2019.

6 Immissionsermittlung

6.1 Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM

Für die Immissionsberechnungen wurde das nichthydrostatische, prognostische Strömungsmodell MISKAM eingesetzt, das am Institut für Physik der Atmosphäre Mainz entwickelt wurde /EICHHORN 1989, EICHHORN 2011/. Die Berechnungen wurden mit der MISKAM-Version 6.1 (Version: Juli 2012), WinMISKAM-Version 2014.5.0.9 durchgeführt. Eine ausführliche Beschreibung des Modells ist in der zitierten Arbeit von Eichhorn gegeben. MISKAM gilt in seiner heutigen Version als Standardmodell und dient für andere Modellentwicklungen als Referenz- und Vergleichsmaßstab. Es handelt sich um ein dreidimensionales Strömungsmodell, das, gekoppelt mit einem entsprechenden Ausbreitungsmodell, die Berechnung der Ausbreitung auch in komplex bebautem Gelände erlaubt.

Das Windfeld wird durch die numerische Lösung der Erhaltungsgleichungen für Impuls, Masse und Energie berechnet. Einzelne Gebäude und Hindernisse können somit explizit in ihrer Form aufgelöst werden. Als Turbulenzmodell wird ein Standard-k,ε-Modell eingesetzt.

Vergleiche mit Messergebnissen aus Windkanälen zeigen, dass die Um- und Überströmung von Gebäuden und Gebäudekomplexen, die Ausbildung von Rückströmzonen, der Frontwirbelbereich etc. mit MISKAM realistisch abgebildet werden können (/RÖCKLE R. UND RICHTER C-J. 1995/ /RAU 2000/).

6.2 Modellvorgaben für die Untersuchungsgebiete

Das Untersuchungsgebiet umfasst den Friedrichsring mit der Messstation sowie die direkt angrenzenden Straßenabschnitte (Kurpfalzkreisel und Luisenring im Westen, die Kurpfalzbrücke im Norden sowie das Cahn-Garnier-Ufer im Osten) mit der entsprechenden Bebauung und hat eine Größe von ca. 700 m x 700 m. Mit dieser Gebietsgröße wird die Bebauung, die einen wesentlichen Einfluss auf das Strömungs- und Ausbreitungsfeld im Bereich des zu untersuchenden Hot Spots hat, hinreichend genau erfasst. Die Bebauungsstrukturen wurden dem Liegenschaftskataster des Landsamts für Geoinformation und Landentwicklung entnommen. Die Gebäudehöhen wurden auf Basis von Luftbildaufnahmen (google-street-view) festgelegt. Das MISKAM-Rechengebiet (rot) sowie Auswertegebiet (blau) sind in Abb. 6-1 dargestellt.

Die Auflösung des Rechengebiets beträgt im zentralen Bereich 1,5 m längs der Straßenachse und quer zur Straßenachse; zu den Modellrändern hin erfolgt eine kontinuierliche Spreizung des Gitters bis auf maximal 10,0 m.

In der Vertikalen hat das Rechengebiet im Bereich von 0 bis 2 m eine Auflösung mit einer Schrittweite von 0,4 m, ab 2 m mit einer Spreizung der Schrittweite um ca. 1,2 m bis zu einer Schrittweite von maximal 2,0 m in 20,0 m Höhe. Von 20,0 m bis zum vertikalen Ende des Rechengebiets erfolgt eine Spreizung der Schrittweite um ca. 1,2 m bis zu einer Schrittweite von 10 m. Das Rechengebiet ist mit einer vertikalen Ausdehnung von 120 m ca. 4-mal höher als das höchste Gebäude im Untersuchungsgebiet, um Randeinflüsse zu vermeiden.

Die in Kap. 5 ermittelten Kfz-Emissionen der innerhalb des festgelegten Untersuchungsgebietes liegenden Straßenabschnitte wurden als horizontale bodennahe Linienquellen definiert. Die Emissionen wurden in der zweituntersten Gitterzelle in einer mittleren Höhe von 0,6 m über Straßenniveau definiert, da laut /VDI 3783 Blatt 9/ in der bodennahen Gitterzelle keine Emissionsfreisetzung erfolgen sollte. Die Emissionen im Bereich des Friedrichsrings wurden fahrspurfein vorgegeben.

Die Windfeldsimulationen erfolgten unter Berücksichtigung der relevanten Bebauungsstruktur bei 12 Anströmrichtungen in 30° Schritten. Der Antrieb erfolgte mit 10 m/s in 100 m Höhe ungestört.

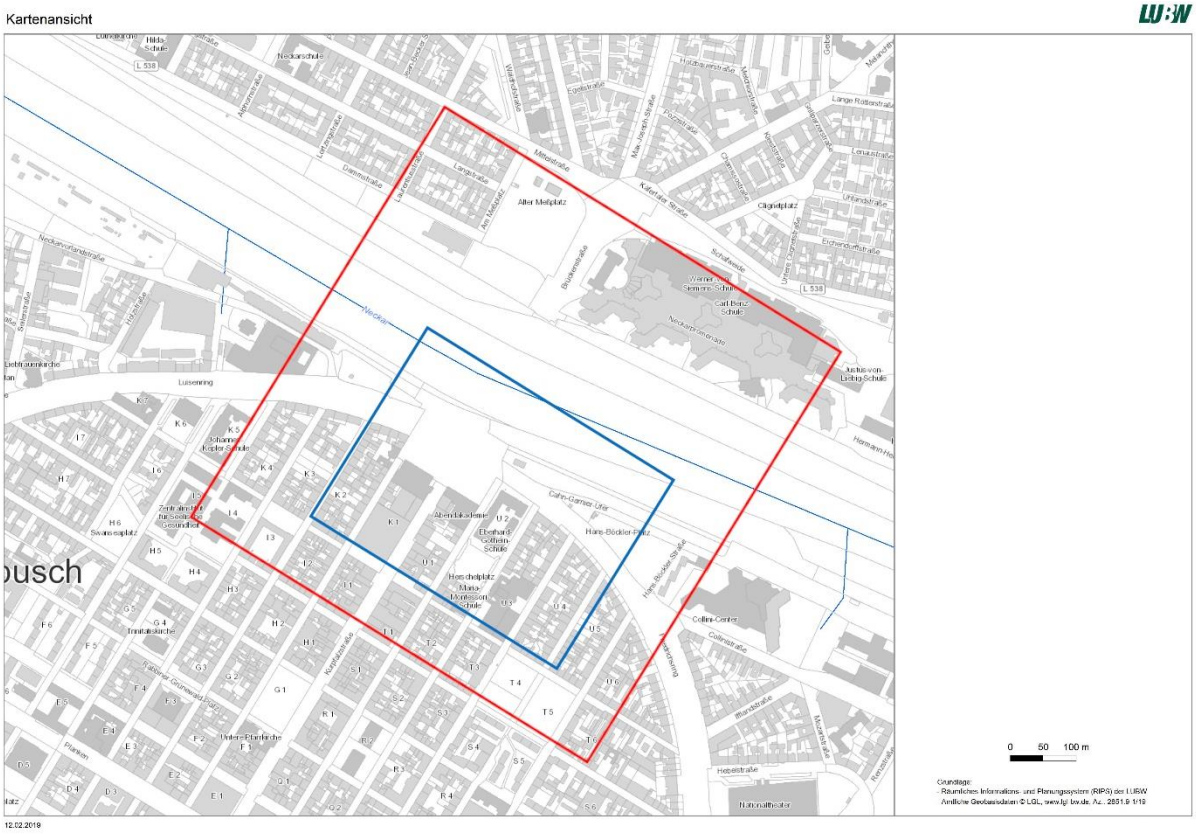


Abb. 6-1: Lage des Untersuchungsgebietes Mannheim-Friedrichsring mit Rechengebiet (rot) und Auswertegebiet (blau).
Quelle: Topografische Karte und Luftbilder, Umwelt-Daten und Karten online (UDO), Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), http://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de .

6.3 Meteorologie

Für die Bestimmung des Jahresmittelwertes wird eine für den Untersuchungsort repräsentative Windstatistik mit den Parametern Windrichtung und Windgeschwindigkeit benötigt. Durch Gewichtung der für jede Anströmrichtung und Windgeschwindigkeitsklasse bestimmten Immissionskonzentrationsfelder gemäß der prozentualen Häufigkeit der entsprechenden Ausbreitungssituation, die in der Windstatistik durch Angabe der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit gegeben ist, werden die Jahresmittelwerte bestimmt.

Für die vorliegenden Fälle wurde auf synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken (SynAKS) zurückgegriffen /BIGALKE K, RAU M, AHRENS D 2008/. Die synthetischen Ausbreitungsklassenstatistiken liegen in einem Raster von 500m x 500m vor. Die dem Messstandort nächstgelegene SynAKS zeigt das Windrichtungsmaximum für Winde aus Süd und das Sekundärmaximum für nördliche Winde. Diese Windrichtungsverteilung stimmt sehr gut mit der an der DWD-Station gemessenen Verteilung überein. Die DWD-Station liegt ca. 6 km in ONO-Richtung im Bereich von Mannheim-Vogelstang am östlichen Stadtrand. Das Geschwindigkeitsniveau (jahresmittlere Windgeschwindigkeit) der SynAKS ist mit ca. 2,2 m/s niedriger als an der DWD-Station mit etwa 2,8 m/s. Dies ist auf die erhöhte Rauigkeit infolge der innerstädtischen Bebauung im Bereich des Friedrichsrings zurückzuführen.

In Abb. 6-2 ist die Häufigkeitsverteilung von Windrichtung und Windgeschwindigkeit der verwendeten Windstatistik dargestellt.

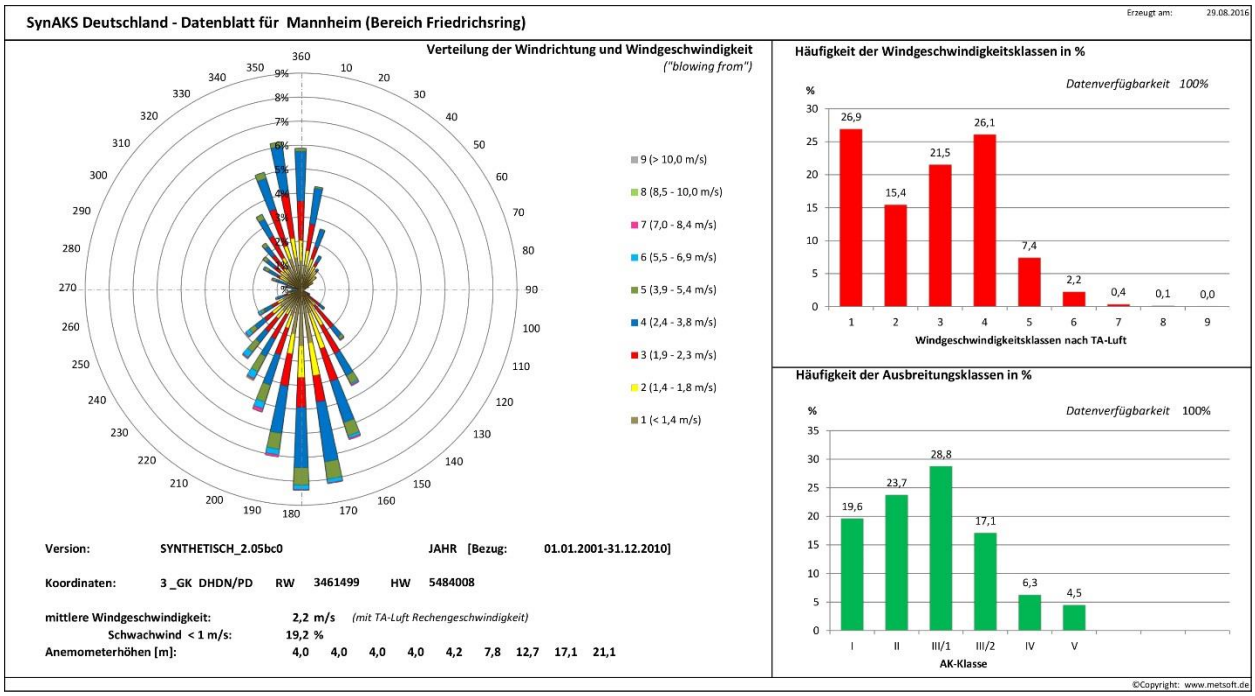


Abb. 6-2: Verteilung der Windrichtungen und der Windgeschwindigkeiten der für das Untersuchungsgebiet gewählten synthetischen Ausbreitungsklassenstatistik.

6.4 Bestimmung der Gesamtbelastung

6.4.1 Hintergrundbelastung

Die Berechnungen mit MISKAM liefern als Ergebnis die durch die Straßenemissionen verursachten Immissionszusatzbelastungen innerhalb des Untersuchungsgebietes. Die Immissionsgesamtbelastung ergibt sich durch Überlagerung der berechneten Zusatzbelastung mit der Hintergrundbelastung. Die Hintergrundbelastung setzt sich aus den übrigen städtischen Emissionsquellen und dem großräumigen Schadstofftransport zusammen. Die Verursacheranalyse der LUBW für das Bezugsjahr 2013 /LUBW 2014/ weist für den Friedrichsring eine lokale Belastung von 39% des Messwertes aus, der durch den lokalen Verkehr im Bereich der Messstelle sowie die lokalen Anteile der Quellgruppen Industrie, Offroad und kleine bzw. mittlere Feuerungsanlagen (KFA) verursacht werden. Letztere machen einen Anteil von 15% aus.

Das Gesamthintergrundniveau wurde in der Verursacheranalyse der LUBW für das Bezugsjahr 2013 mit 61% des Messwertes von 48 µg/m³, entsprechend einem Wert von 29 µg/m³ ausgewiesen. Dieser Wert wurde als Mittelwert aus den an der Station Mannheim-Nord und Mannheim-Mitte gemessenen Werten (beide Messstationen sind als Messstationen für den städtischen Hintergrund eingestuft) ermittelt. Da die Messungen der Jahre 2010 bis 2015 an der Station Mannheim-Nord (die Messung an der Station Mannheim-Mitte wurde im Jahr 2014 eingestellt) nahezu keine, die Messungen am Friedrichsring nur eine geringe Abnahme für diesen Zeitraum aufweisen, wurde davon ausgegangen, dass die im Rahmen der Verursacheranalyse ermittelten Anteile der Quellen an der Immissionsgesamtbelastung für das hier betrachtete Basisjahr 2015 angesetzt werden können. In dem Wert für die Gesamthintergrundbelastung wird der Anteil des großräumigen Straßenverkehrs mit 27% ausgewiesen, d.h. die Verkehrsemissionen betragen insgesamt 51%.

Bei einer sinnvollen Zuteilung von Zusatzbelastung und Hintergrundbelastung ist jetzt eine Besonderheit zu berücksichtigen. Mit den MISKAM-Berechnungen wird der lokale Anteil des Verkehrs berücksichtigt, aber auch ein Teil des großräumigen Verkehrs, da die im Bereich der Messstelle gelegenen Straßenabschnitte innerhalb des Rechengebietes von 700 x 700 m² mitberücksichtigt werden. Allerdings ist ohne sehr aufwändige Immissionsberechnungen dieser Anteil nur schwer zu quantifizieren. Auf Grund der örtlichen Gegebenheiten und basierend auf Erfahrungswerten gehen wir davon aus, dass 25% des großräumigen Verkehrs, entsprechend ca. 7%, in den MISKAM-Ergebnissen enthalten sind. Auf der anderen Seite werden für den Bereich der Messstelle lokale Einflüsse, nicht durch den Verkehr bedingt, von 15% ausgewiesen. Da diese sonstigen Quellen nicht durch die MISKAM-Berechnungen erfasst werden, sind sie bei der Ermittlung der Gesamtbelastung dem Gesamthintergrund zuzuordnen.

Somit ist für das Basisjahr 2015 für die Messstelle Friedrichsring bei der Berechnung der Gesamtbelastung von einem korrigierten Gesamthintergrund auszugehen, der sich wie folgt ergibt:

- Gesamthintergrundniveau 61%
- abzüglich 7% des Verkehrsanteils, der durch die Berechnungen miterfasst wird und
- zuzüglich 15% der lokalen Belastung der Nicht-Verkehr-Quellen im Bereich der Messstelle.

Dies ergibt insgesamt 69%, entsprechend einem korrigierten Hintergrundwert für die Berechnungen von 33 µg/m³.

Für die Entwicklung der städtischen Hintergrundbelastung in den nächsten Jahren wurde die in der Studie der IVU Umwelt /IVU UMWELT GMBH 2014/ prognostizierte Entwicklung herangezogen. In dieser Studie sind flächendeckende NO_2-Hintergrundbelastungswerte für die Bezugsjahre 2010 und 2020 angegeben. Auf Grund der angesprochenen stagnierenden Entwicklung der städtischen Hintergrundbelastung zwischen 2010 und 2015 wird mit der in der IVU-Studie abgeschätzten Minderung zwischen 2010 und 2020 erst ab 2016 begonnen, d.h. eine erstmalige Abnahme wird von 2016 auf 2017 angesetzt. Die Werte für die in dieser Untersuchung interessierenden Hintergrundbelastungen für die Bezugsjahre 2017 bis 2020 wurden entsprechend aus den Werten der IVU-Studie interpoliert. Man erhält so eine jährliche Abnahme der Hintergrundbelastung ab 2016 von etwa 2,8%. Die entsprechenden Werte sind in Tab. 6-1 aufgeführt.

Tab. 6-1: NO_2-Hintergrundbelastungswerte für das Untersuchungsgebiet.

Untersuchungsgebiet	Basisjahr 2015	Trendjahr 2017	Trendjahr 2018	Trendjahr 2019	Trendjahr 2020
Friedrichsstraße Mannheim	33 µg/m³	32,1 µg/m³	31,2 µg/m³	30,3 µg/m³	29,5 µg/m³

6.4.2 Jahresmittelwerte

Mit dem in Kapitel 6.4.1 abgeleiteten Werten für die Hintergrundbelastung und die lokale Zusatzbelastung außer Verkehr werden durch Addition mit den berechneten Zusatzbelastungswerten durch den Verkehr incl. des ebenfalls in Kapitel 6.4.1 abgeleiteten Anteils des verkehrlichen Gesamthintergrundes die NO_2-Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung zum Vergleich mit den Grenzwerten berechnet.

Da mit den derzeit verfügbaren mikroskaligen Modellen, so auch mit MISKAM, nur die Ausbreitung inerter Schadstoffe simuliert werden kann, andererseits jedoch die Konzentrationen des reaktiven Schadstoffs NO_2 bestimmt und beurteilt werden muss, wird bei der Berechnung der statistischen Kenngrößen für NO_2 die NO-NO_2-Konversion berücksichtigt. Die chemische Umwandlung von NO nach NO_2 ist äußerst komplex und von einer Reihe von Parametern wie

UV-Strahlung, Ozonwert, Temperatur, um nur einige zu nennen, abhängig. Bisher gibt es noch kein hinreichend validiertes Chemiemodell, mit dem die relativ schnelle Umwandlung auf kleinem Raum in bebauten Gebieten hinreichend genau beschrieben werden kann. Stand der Technik war bisher, die Umwandlung mittels des empirischen Modells von Romberg /ROMBERG 1996/ den NO-NO_2-Umwandlungsgrad als Funktion der NO_X-Gesamtimmission beschreibt, zu bestimmen. Diese empirische Beziehung wurde aus Messdaten Mitte der 90er Jahre abgeleitet. Es ist mittlerweile bekannt, dass sich emissionsseitig das NO-NO_2-Verhältnis verändert hat und vermutlich im Zuge weiterer Veränderungen der Motoren und Abgastechnik weiter verändern wird. Ein Indiz dafür ist unter anderem, dass in den letzten Jahren die Messungen an verkehrsreichen Straßen einen Rückgang bei den NO_X-Immissionen, nicht aber bei den NO_2-Immissionen gezeigt haben. Diese Verschiebung zu einer höheren NO_2-Emission hat auch Auswirkungen auf die Umwandlung von NO zu NO_2. Daher wurde für die vorliegende Untersuchung das NO_X-NO_2-Verhältnis mit einem aktualisierten Romberg-Ansatz /DÜRING I. ET AL 2011/, der dieser Entwicklung Rechnung trägt, berechnet.

6.4.3 Kurzzeitwerte

Die /39. BIMSCHV/, deren Grenzwerte für die Immissionsbeurteilung relevant sind, enthält neben dem Immissionsgrenzwert für den Jahresmittelwert von NO_2 auch einen Immissionsgrenzwert für den Kurzzeitwert (Mittelungszeit 1 Stunde) von NO_2, der nicht öfter als 18 mal im Kalenderjahr überschritten werden darf (entspricht einem 99,8%-Wert). Die direkte modelltechnische Bestimmung dieses Kurzzeitwertes ist recht aufwändig.

Messergebnisse der letzten Jahre an vielen bundesweiten Stationen an stark verkehrsbelasteten Straßen zeigen jedoch, dass die maximal zulässigen 18 Überschreitungen des 1-h-Wertes für NO_2 dann eingehalten werden können, wenn der Jahresmittelwert unter 60 µg/m³ liegt. Ab einem Jahresmittelwert von 80 µg/m³ hingegen kann von einer Überschreitung des Kurzzeitwertes ausgegangen werden /LUBW 2010/.

7 Ergebnisauswertung

7.1 Grenzwerte der 39. BImSchV

Für die Beurteilung der Immissionskonzentrationen von NO_2 werden die Grenzwerte der EU-Richtlinie 2008/50/EG herangezogen, die mit der /39. BIMSCHV/ in deutsches Recht umgesetzt wurde und seit dem 06.08.2010 in Kraft ist. Die Grenzwerte sind in Tab. 7-1 zusammengestellt. Die Grenzwerte für NO_2 müssen seit Beginn des Jahres 2010 eingehalten werden.

Tab. 7-1: Lufthygienische Grenzwerte der 39. BImSchV für NO_2.

Luftschadstoff	Konzentration [µg/m³]	Mittelungs-zeitraum	Zulässige Überschreitungs-häufigkeit im Kalenderjahr
Immissionswert zum Schutz der Gesundheit			
Stickstoffdioxid	40 200	Kalenderjahr 1 Stunde	- 18

7.2 Darstellung der Ergebnisse für die Umgebung der Verkehrsmessstelle Mannheim-Friedrichsring

Die mit MISKAM flächig berechneten Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung für NO_2 in 1,4 m Höhe (entspricht dem Mittelpunkt der vierten Gitterzelle) über Straßenniveau sind beispielhaft für das Basisjahr 2015 sowie das Trendjahr 2019 in den Abbildungen Abb. 7-1 und Abb. 7-2 dargestellt.

Die Abb. 7-1 (Jahresmittelwert für NO_2) zeigt die höchsten Immissionskonzentrationen im Bereich der Nordfassaden der Gebäude auf der Südseite des Friedrichsrings, aber auch des Luisenrings westlich des Kurpfalzkreisels. Im Bereich des Messcontainers (gelb markiert) wird für das Basisszenario mit MISKAM ein NO_2-Jahresmittelwert von 48,1 µg/m³ prognostiziert. Bis zum Jahr 2020 geht dieser Wert ohne weitere Maßnahme (Trendszenario 2020) auf Grund der zu erwartenden Emissionsminderung im Kfz-Bereich sowie die zu erwartende Abnahme in der Hintergrundbelastung auf knapp unter 40 µg/m³ zurück, d.h. der Grenzwert wird gerade eingehalten. Dies zeigt die Abb. 7-2.

7.3 Vergleich des Berechnungsergebnisses mit der Messung

Im Jahr 2015 wurde am Friedrichsring ein NO_2-Jahresmittelwert von 47 µg/m³ gemessen. Die MISKAM-Berechnung ergab, wie in Kap. 7.2 gezeigt, einen Wert von 48,1 µg/m³ für das Basisjahr 2015. Die Übereinstimmung von Berechnung und Messung ist als sehr gut zu

bezeichnen. Die MISKAM-Berechnungen sind somit geeignet, die Trendentwicklung sowie die Maßnahmenwirkung zu prognostizieren.

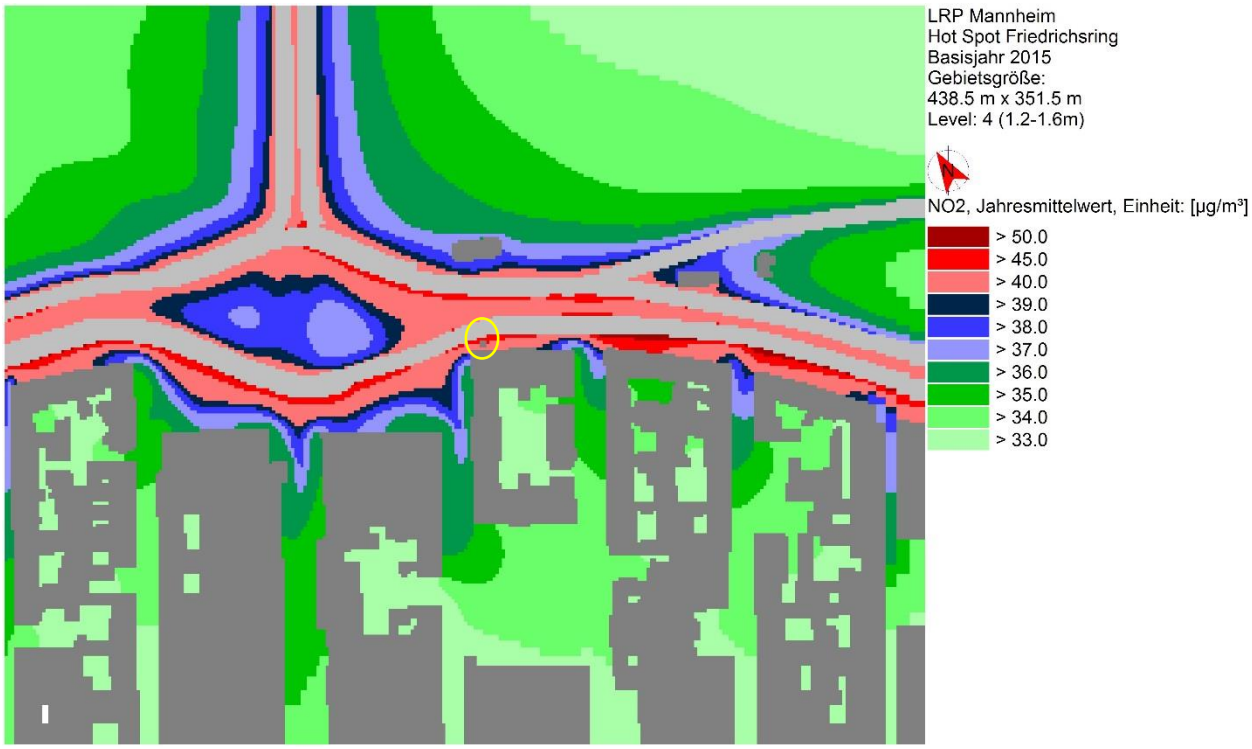


Abb. 7-1: Berechnete NO_2-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für das Basisjahr 2015; Horizontalschnitt in 1,4 m Höhe über Geländeniveau.

Abb. 7-2: Prognose der NO_2-Jahresmittelwerte der Immissionsgesamtbelastung für das Trendjahr 2020; Horizontalschnitt in 1,4 m Höhe über Geländeniveau.

7.4 Trendentwicklung 2015 bis 2020

Basierend auf den in Kap. 5.1 hergeleiteten NO_x-Emissionen für die Bezugsjahre 2017 bis 2020 berechnen sich mit MISKAM unter Berücksichtigung eines kontinuierlichen Rückgangs der Hintergrundbelastung die in der Abb. 7-3 dargestellten NO_2-Jahresmittelwerte an der Messstelle Friedrichsring (grüne Balken). Wie in Kap. 7.3 dargestellt lag der Messwert im Basisjahr 2015 mit 47,0 µg/m³ etwas niedriger als der mit MISKAM mit 48,1 µg/m³ berechnete Wert. Bezogen auf den tatsächlichen Messwert im Jahre 2015 ergeben sich die blauen Balken in Abb. 7-3. Die an den Messwert 2015 angepassten Berechnungsergebnisse zeigen, dass im Jahr 2020 ohne weitere Maßnahme der Grenzwert für das NO_2-Jahresmittel eingehalten werden kann (Jahresmittel von 39,0 µg/m³). Die Diskussion zum NO_2-Kurzzeitwert (siehe Kap. 6.4.3) zeigt zudem, dass bei dieser Höhe des Jahresmittelwertes der NO_2-Kurzzeitwert (max. 18 Überschreitungen des 1-h-Wertes von 200 µg/m³) sicher eingehalten wird.

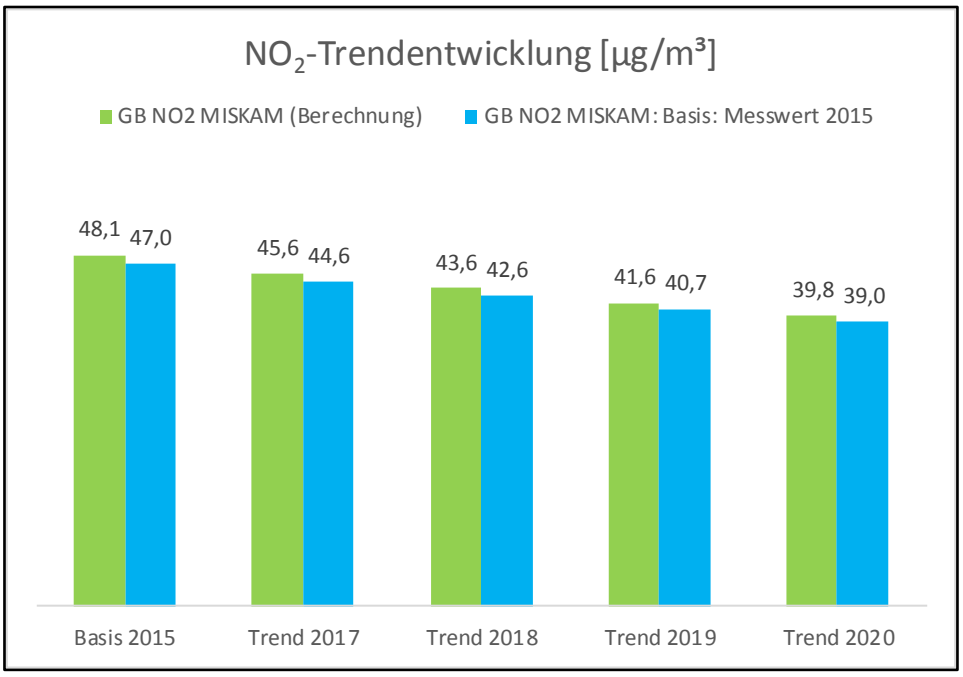


Abb. 7-3: Trendentwicklung 2015 bis 2020: NO_2-Jahresmittelwerte an der Verkehrsmessstelle Mannheim-Friedrichsring

7.5 Maßnahme blaue Umweltzone

Die Abb. 7-4 zeigt die Berechnungsergebnisse an der Messstelle Friedrichsring für die Maßnahme „blaue Umweltzone“ ab 01.01.2019. Gezeigt sind wieder die Berechnungsergebnisse (grüne Balken) sowie die auf den Messwert für 2015 hin korrigierten Berechnungsergebnisse (blaue Balken). Die Ergebnisse zeigen, dass mit der Maßnahme „blaue Umweltzone“ der NO_2-Grenzwert bereits im Jahr 2019 sicher eingehalten werden würde.

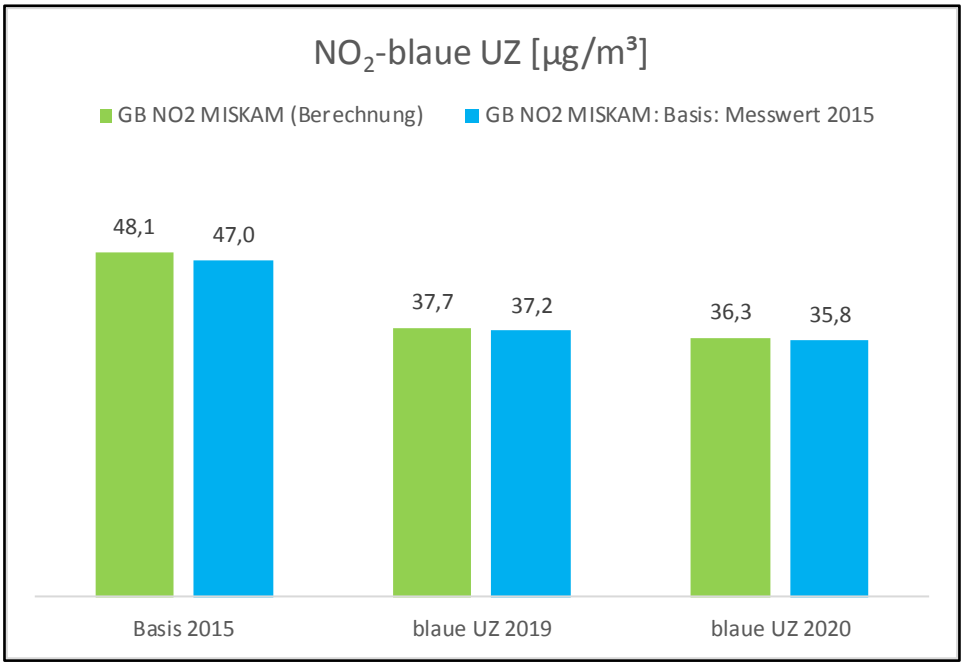


Abb. 7-4: Maßnahme Blaue Umweltzone: Entwicklung der NO_2-Jahresmittelwerte an der Verkehrsmessstelle Mannheim-Friedrichsring

7.6 Notwendige Reduktion der Verkehrsbelastung zur Einhaltung des Grenzwertes

Aus den Ergebnissen der Immissionsberechnungen zur Trendentwicklung lässt sich unter Berücksichtigung der vereinfachten Ozon-Chemie rückrechnen, dass zur Einhaltung des NO_2-Grenzwertes im Jahr 2018 eine Reduktion der lokalen NO_x-Emissionen am Hotspot Friedrichsring um ca. 33%, im Jahr 2019 von 10% erforderlich wäre. Um diese NO_x-Emissionsreduktion zu erreichen, ist eine Reduktion des DTV am Hotspot im Jahr 2018 von 23,6%, im Jahr 2019 von 6,3% erforderlich. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Anteile der einzelnen Fahrzeugkategorien am DTV unverändert bleiben. Im Jahr 2020 wird der NO_2-Grenzwert ohne weitere Maßnahme eingehalten.

Mit der Maßnahme „blaue Umweltzone“ wird der Grenzwert bereits im Jahr 2019 sicher eingehalten.

8 Zusammenfassung

An der Messstelle Friedrichsring in Mannheim wurde im Jahr 2015 wie in den Jahren zuvor mit 47 µg/m³ eine Überschreitung des NO_2-Jahresgrenzwertes (40 µg/m³) festgestellt. Dies ist Anlass für die Abteilung 54.1 des Regierungspräsidiums Karlsruhe für die Fortschreibung des Luftreinhalteplans des Regierungspräsidiums Karlsruhe, Teilplan Mannheim.

Als erster Schritt sollte laut Aufgabenstellung die Trendentwicklung, d.h. die emissions- und immissionsseitige Entwicklung ohne weitere zusätzliche Maßnahme bewertet werden. Als zweiter Schritt sollte als mögliche Maßnahme zur Emissions- und Immissionsminderung die Einführung der blauen Umweltzone ab 01.01.2019 geprüft werden. In einem dritten Schritt sollte ermittelt werden, ob und um wieviel in den Jahren 2017 bis 2020 bei der Trendentwicklung bzw. 2019 und 2020 bei der Maßnahme „blaue Umweltzone“ der Verkehr reduziert werden müsste, um den Grenzwert in den jeweiligen Jahren einzuhalten.

Die zur Verfügung gestellten Verkehrsdaten wurden durch AVISO GmbH aufbereitet. Diese Verkehrsdaten dienten als Grundlage für die sich anschließende Emissionsbestimmung, die ebenfalls durch die AVISO GmbH auf Basis des HBEFA Version 3.2 erfolgte. Die Prognostizierung der Immissionskonzentrationen für die zu untersuchenden Bezugsjahre und Szenarien wurde mit dem prognostischen Strömungsmodell MISKAM durchgeführt, das derzeit den Stand der Technik für Ausbreitungsberechnungen innerhalb komplexer Bebauungsstrukturen darstellt.

Die Immissionsberechnungen ergaben, dass im Bereich der Messstelle Friedrichsring unter Berücksichtigung aller einer Prognoserechnung zu Grunde liegenden Unsicherheiten mit hoher Wahrscheinlichkeit im Jahr 2020 der NO_2-Grenzwert für das Jahresmittel eingehalten werden kann, vorausgesetzt, die Verkehrssituation ist vergleichbar mit der des Basisszenarios und die Emissionsminderungen entwickeln sich so, wie vom HBEFA zum heutigen Zeitpunkt prognostiziert („Trendentwicklung“). In den Jahren 2018 und 2019 sind noch Überschreitungen des Grenzwertes zu erwarten, die eine Minderung der lokalen NO_x-Emissionen durch den Kfz-Verkehr um ca. 33% (2018) bzw. 10% (2019) erforderlich machen würden, gleichbedeutend einer Reduzierung des DTV-Wertes von 23,6% (2018) und 6,3% (2019). Bei der Maßnahme „blaue Umweltzone“ ab dem 01.01.2019 ist zu erwarten, dass der Grenzwert bereits im Jahr 2019 sicher eingehalten wird.

9 Literaturverzeichnis

AVISO 2013
Einarbeitung der Ergebnisse der SVZ 2010 in das Landesemissionskataser Straßenverkehr Baden-Württemberg, AVISO GmbH, im Auftrag der LUBW; Aachen, 2013.

BIGALKE K, AHRENS D, RAU M 2008
Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken zur Verwendung in Immissionsprognosen, Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, Nr. 68. Jahrgang, 2008.

DÜRING I ET AL 2011
A new simplified NO/NO_2 conversion model under consideration of direct NO_2-emissions, Stuttgart: Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20, No. 1, 067-073 © by Gebrüder Borntraeger 2011 (published online), 2011.

EICHHORN J: 1989
Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen, mikroskaligen Stadtklimamodells. Diss. Meteorol. Inst. Univ. Mainz, Mainz, 1989.

EICHHORN J. 2011
MISKAM Handbuch zu Version 6, Wackernheim: giese-eichhorn umweltmeteorologische software, 2011.

HAUSBERGER 2010
Hausberger, S., et al., Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3, TU Graz Institute for internal combustion engines and thermodynamics, Graz, December 2009.

HAUSBERGER 2014
Hausberger S., et al., Update of Emissions Factors for EURO5 and EURO 6 vehicle for the HBEFA Version 3.2, TU Graz Institute for internal combustion engines and thermodynamics, Graz, December 2013.

HBEFA 2014
www.hbefa.net

IVU UMWELT GMBH 2014
Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg 2010, Freiburg, 2014.

LUBW 2010
Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, "Modellierung verkehrsbedingter Immissionen - Anforderungen an der Eingangsdaten - Grundlage HBEFA 3.1", LUBW, Hrsg., Freiburg, 2010.

LUBW 2014
LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg - Referat 31 – Luftreinhaltung, Umwelttechnik, Luftreinhaltepläne für Baden-Württemberg - Grundlagenband 2013, 2014.

RAU M. 2000
Vergleich berechneter (MISKAM) und gemessener (Windkanal) Wind- und Konzentrationsfelder für ein U-Gebäude., Projekt im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen; unveröffentlicht, 2000.

RHEIN-NECKAR-VERKEHR GMBH 2016
Abschätzung der Effekte aus der Stadtbahn Mannheim-Nord, E-Mail der Rhein-Neckar-Verkehr GmbH, Stabsabteilung Unternehmensentwicklung (UE) Abt. Strategisches Marketing und Kundenqualitätsmanagement (UE1), Mannheim, 26.07.2016.

RÖCKLE R., RICHTER C.-J. 1995
Ermittlung des Strömungs- und Konzentrationsfeldes im Nahfeld typischer Gebäudekonfigurationen - Modellrechnungen, Abschlussbericht PEF 92/007/02, Forschungszentrum Karlsruhe. (http://bwplus.fzk.de), 1995.

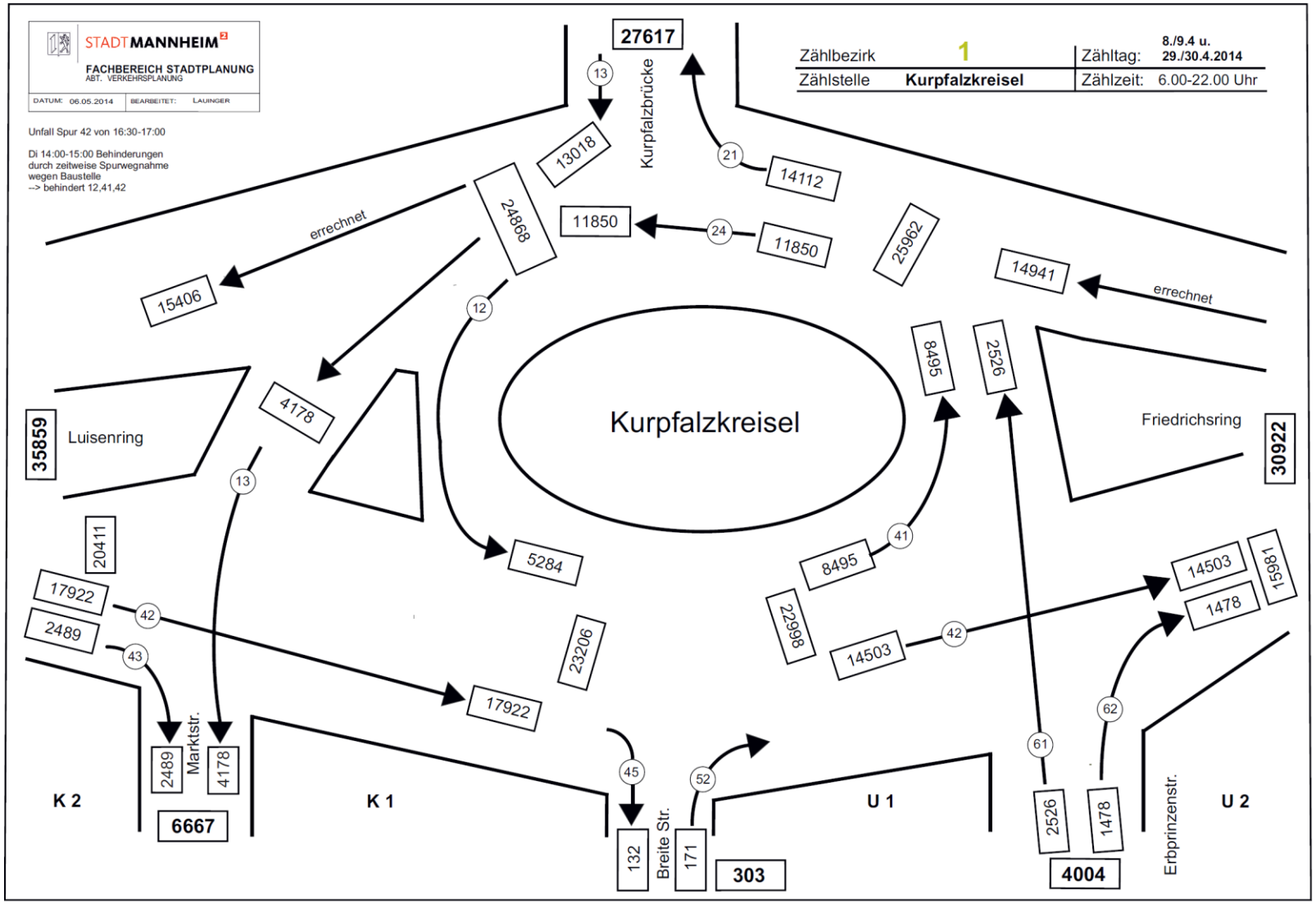
ROMBERG E ET AL 1996
NO-NO_2-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Nr. 56 Jahrgang (1996), pp.215-218.

39. BIMSCHV 2010
Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Luftqualitätsstandarts und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065), 2010.

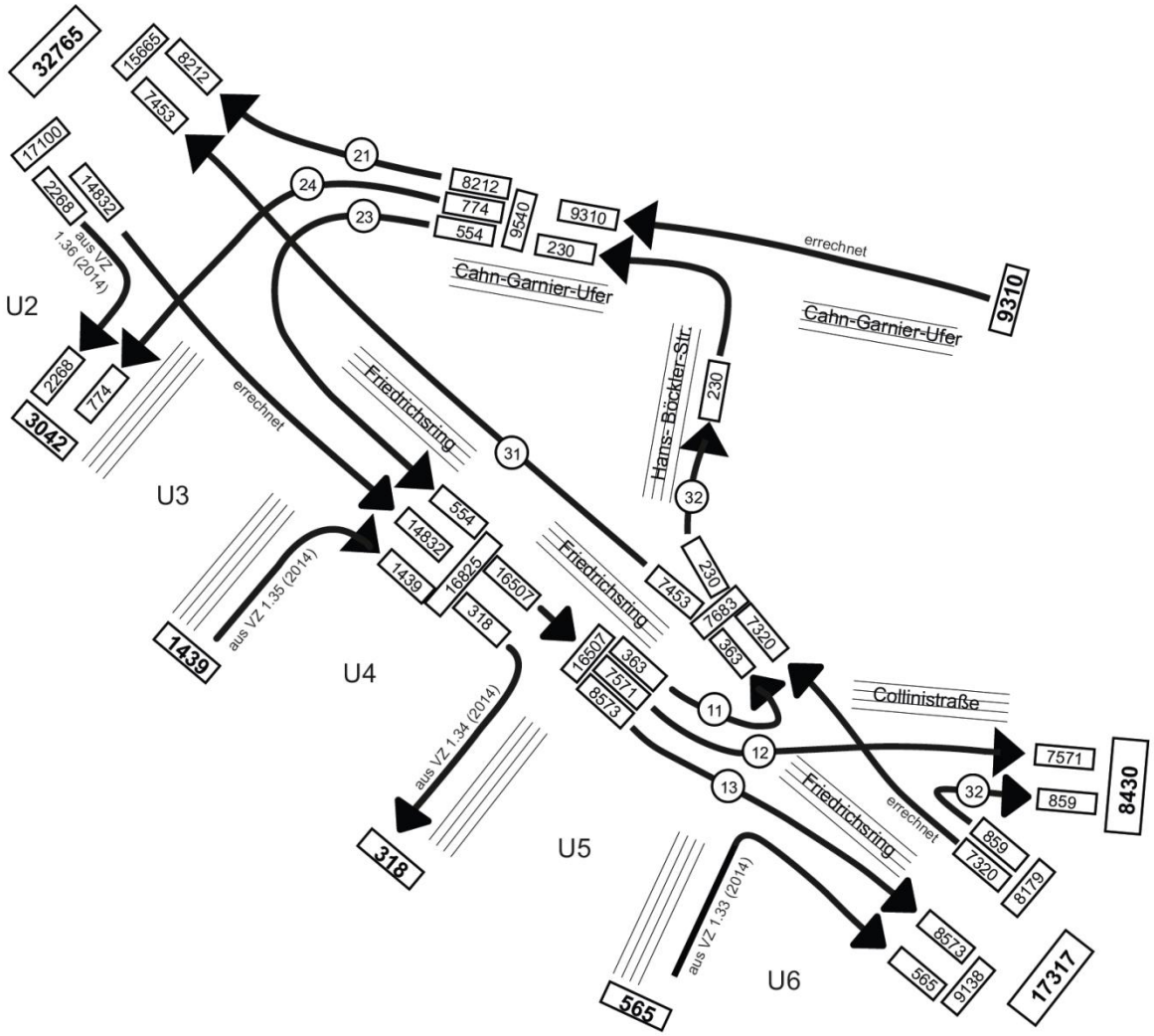
VDI 3783 BLATT 9, 2005
Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle. Evaluierung für Gebäude- und Hindernisströmung. Umweltmeteorologie, VDI, November 2005.

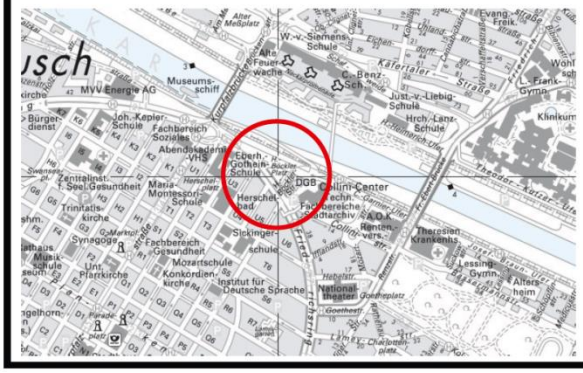
10 Anhang

10.1 Anhang 1: Zur Verfügung gestellte und aufbereitete Verkehrszähldaten



ZÄHLBEZIRK	Cahn-Garnier-Ufer	ZÄHLTAG: 12./13.04.2016
ZÄHLSTELLE	Friedrichsring/Collinistr./ Cahn-Garnier-Ufer	ZÄHLZEIT: 6.00 - 22.00 Uhr





Einf :	36 593
Ausf :	36 593

STADT MANNHEIM²

FACHBEREICH STADTPLANUNG
ABT. VERKEHRSPLANUNG

DATUM: 15.4.2016 | BEARBEITET: JETTER

10.2 Anhang 2: Ergebnisse der Emissionsberechnungen für den Hotspot Friedrichsring

2015		Pkw Diesel	Pkw Otto	lNfz	Krad	sNfz	Kfz
DTV	[Kfz/24h]	11.552	17.049	1.239	502	644	30.986
		37,3%	*55,0%*	*4,0%*	*1,6%*	*2,1%*	*100,0%*
NO_X	[kg/(km*a)]	2.287,52	874,29	245,55	16,79	709,15	4.133,30
		55,3%	*21,2%*	*5,9%*	*0,4%*	*17,2%*	*100,0%*

2017		Pkw Diesel	Pkw Otto	lNfz	Krad	sNfz	Kfz
DTV	[Kfz/24h]	12.491	15.810	1.239	502	644	30.686
		40,7%	*51,5%*	*4,0%*	*1,6%*	*2,1%*	*100,0%*
NO_X	[kg/(km*a)]	2.158,42	720,50	223,72	16,46	482,63	3.601,73
		59,9%	*20,0%*	*6,2%*	*0,5%*	*13,4%*	*100,0%*

2018		Pkw Diesel	Pkw Otto	lNfz	Krad	sNfz	Kfz
DTV	[Kfz/24h]	13.021	15.280	1.239	502	644	30.686
		42,4%	*49,8%*	*4,0%*	*1,6%*	*2,1%*	*100,0%*
NO_X	[kg/(km*a)]	2.043,80	635,34	189,56	16,10	408,90	3.293,69
		62,1%	*19,3%*	*5,8%*	*0,5%*	*12,4%*	*100,0%*

2019		Pkw Diesel	Pkw Otto	lNfz	Krad	sNfz	Kfz
DTV	[Kfz/24h]	13.373	14.928	1.239	502	644	30.686
		43,6%	*48,6%*	*4,0%*	*1,6%*	*2,1%*	*100,0%*
NO_X	[kg/(km*a)]	1.901,55	582,79	159,60	15,67	339,40	2.999,01
		63,4%	*19,4%*	*5,3%*	*0,5%*	*11,3%*	*100,0%*

2019 blaue UZ		Pkw Diesel	Pkw Otto	lNfz	Krad	sNfz	Kfz
DTV	[Kfz/24h]	9.828	18.473	1.239	502	644	30.686
		32,0%	*60,2%*	*4,0%*	*1,6%*	*2,1%*	*100,0%*
NO_X	[kg/(km*a)]	802,02	550,72	81,32	15,67	141,48	1.591,20
		50,4%	*34,6%*	*5,1%*	*1,0%*	*8,9%*	*100,0%*

2020		Pkw Diesel	Pkw Otto	lNfz	Krad	sNfz	Kfz
DTV	[Kfz/24h]	13.669	14.632	1.239	502	644	30.686
		44,5%	*47,7%*	*4,0%*	*1,6%*	*2,1%*	*100,0%*
NO_X	[kg/(km*a)]	1.753,52	536,62	136,66	15,29	301,12	2.743,21
		63,9%	*19,6%*	*5,0%*	*0,6%*	*11,0%*	*100,0%*