

Müller-BBM GmbH
Niederlassung Karlsruhe
Nördliche Hildapromenade 6
76133 Karlsruhe

Telefon +49(721)504379 0
Telefax +49(721)504379 11

www.MuellerBBM.de

Dr. rer. nat. Rainer Bösing
Telefon +49(721)504379 15
Rainer.Boesinger@mbbm.com

15. August 2016
M124786/02 BSG/BSG

Berechnungen im Rahmen der 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für die Stadt Würzburg

**Untersuchungen zu Dieselfahrzeugen
als Hauptverursacher der NO₂-Belastung
am LÜB-Standort Stadtring Süd für das
Bezugsjahr 2015**

Bericht Nr. M124786/02

Auftraggeber:	Bayerisches Landesamt für Umwelt 86177 Augsburg
Auftragsnummer:	23-0270-13274/2016
Bearbeitet von:	Dr. rer. nat. Rainer Bösing
Berichtsumfang:	Insgesamt 23 Seiten

Müller-BBM GmbH
Niederlassung Karlsruhe
HRB München 86143
USt-IdNr. DE812167190

Geschäftsführer:
Joachim Bittner, Walter Grotz,
Dr. Carl-Christian Hantschk, Dr. Alexander Ropertz,
Stefan Schierer, Elmar Schröder

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
1 Situation und Aufgabenstellung	5
2 Rechtliche Beurteilungsgrundlagen	5
3 Örtliche Gegebenheiten und Rechenverfahren	6
3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes	6
3.2 Luftschadstoffmessungen in Würzburg	9
3.3 Umweltzone	10
3.4 Rechenverfahren zur Ermittlung der verkehrsbedingten lokalen Zusatzbelastung	11
4 Technische Grundlagen	12
4.1 Emissionen Straßenverkehr	12
4.2 Vorbelastung	14
4.3 Meteorologische Daten	14
5 Ergebnisse	15
5.1 Methodik	15
5.2 Ermittelte Emissionen des Straßenverkehrs auf dem Stadtring Süd	16
5.3 Verursacheranteile nach Fahrzeugkategorien im Jahr 2015	17
5.4 Auswirkungen fiktiver Ansätze auf die NO ₂ -Immissionsbelastung	20
6 Grundlagen, verwendete Literatur	22

Zusammenfassung

Für die Fortschreibung des Luftreinhalteplans (LRP) Würzburg sind verschiedene Untersuchungen durchzuführen. Im vorliegenden Gutachten wird der in der Verursacheranalyse [9] ermittelte Verursacheranteil des lokalen Verkehrs weiter aufgeteilt in die Anteile von Benzin-Pkw, Diesel-Pkw, leichten Nutzfahrzeugen (LNfz), Bussen (BUS) und schweren Nutzfahrzeugen mit einem zulässigen Gesamtgewicht >3,5 t (SNfz). Die Anteile wurden für den Schadstoff NO₂ für den LÜB-Standort Stadtring Süd für das Bezugsjahr 2015 mit dem Screening-Modell IMMIS^{emluft} [5] ermittelt.

Die zugrunde gelegten Verkehrszahlen auf dem Stadtring Süd setzen sich folgendermaßen zusammen: 18.381 Benzin-Pkw/24 h, 117 Benzin-LNfz/24 h, 18.194 Diesel-Pkw/24 h, 2.332 Diesel-LNfz/24 h, 1.674 SNfz/24 h und 122 Busse/24 h. Die von den Fahrzeugen verursachten Emissionen wurden unter Berücksichtigung der Emissionsfaktoren einer für Würzburg abgeleiteten Fahrzeugflotte berechnet.

Auf dem Stadtring Süd werden 46 % der lokalen NO_x-Emissionen¹ und 71 % der lokalen NO₂-Emissionen von Diesel-Pkw verursacht. Dies ist auf die deutlich höheren primären NO₂-Emissionen bei Dieselfahrzeugen als bei Benzinern zurückzuführen. Dieselfahrzeuge insgesamt (Pkw, LNfz, SNfz und BUS) sind für 86 % der NO_x- und für 97 % der NO₂-Emissionen am Stadtring Süd verantwortlich.

Am Straßenabschnitt in der Nähe der LÜB-Messstation Stadtring Süd beträgt die vom lokalen Verkehr verursachte NO₂-Immission 36 % der Gesamtbelastung. Der Immissionsanteil des lokalen Straßenverkehrs, jeweils bezogen auf die NO₂-Gesamtbelastung, wird zu 12 % von Diesel-Pkw, zu 4 % von Diesel-LNfz, zu 8 % von SNfz und zu 4 % von Bussen verursacht. Nur 5 % der NO₂-Gesamtbelastung entstammen den Abgasen von Benzin-Pkw, dazu kommen 3 % von Benzin-LNfz.

Betrachtet man nur den lokalen NO₂-Verkehrsbeitrag von 15,1 µg/m³, so wird dieser zum überwiegenden Anteil von Diesel-Kfz verursacht: Diesel-Pkw 34 % (5,1 µg/m³), Diesel-LNfz 12 % (1,9 µg/m³), SNfz 21 % (3,2 µg/m³) und Busse 10 % (1,5 µg/m³). Mit Dieselmotoren betriebene Fahrzeuge verursachen insgesamt ca. 78 % des lokalen NO₂-Verkehrsanteils (Immissionen) an der Messstation Stadtring Süd.

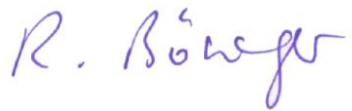
Weiter wurde untersucht, wie sich der Ausschluss verschiedener Dieselfahrzeuge

- Ausschluss schwerer Nutzfahrzeuge SNfz (zulässiges Gesamtgewicht > 3,5 t)
- Ersatz der Diesel-Pkw-Flotte durch Benzin-Pkw

auf die NO₂-Immissionssituation auswirken würde.

¹ Die lokalen Emissionen sind die auf dem betrachteten Straßenabschnitt durch alle Kfz, die den Abschnitt passieren (lokaler Verkehr), verursachten Schadstoffemissionen.

Durch den Ausschluss der SNfz könnte eine NO₂-Minderung von -8 % (-3,2 µg/m³) erreicht werden. Würde darüber hinaus die gesamte Fahrleistung der Diesel-Pkw durch Benzin-Pkw ersetzt werden, dann ergäbe dies eine NO₂-Minderung von -12 % (-5,1 µg/m³). Bei beiden Szenarien und bei Kombination der beiden Szenarien würde sich in der Stadtring Süd eine prognostizierte Gesamtbelastung ergeben, die unter dem NO₂-Grenzwert für das Jahresmittel liegt.



Dr. rer. nat. Rainer Bösing

1 Situation und Aufgabenstellung

Die Regierung von Unterfranken hat im Jahr 2004 im Auftrag des damaligen Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Gesundheit (StMUG) zusammen mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) und der Stadt Würzburg einen Luftreinhalteplan (LRP) für das Stadtgebiet Würzburg erstellt. Ziel ist die Verbesserung der Luftqualität. Aufgrund der in 2008 mit $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aufgetretenen Überschreitung des Stickstoffdioxid (NO_2)-Jahresgrenzwertes an der Messstation Würzburg Stadtring Süd wurde im Jahr 2010 eine erste Fortschreibung des LRP für die Stadt Würzburg erstellt. Auf Antrag der Stadt Würzburg wird der Luftreinhalteplan erneut fortgeschrieben.

In diesem Zusammenhang sind verschiedene Untersuchungen durchzuführen. In der vorliegenden Untersuchung ist der in der Verursacheranalyse [9] ermittelte Verursacheranteil „lokaler Verkehr“ weiter aufzuteilen in die Anteile von Benzin-Pkw, Diesel-Pkw, leichten Nutzfahrzeuge (LNfz), Busse (BUS) und schwere Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht zGG $>3,5 \text{ t}$ (SNfz).

Die Anteile sind für den Schadstoff NO_2 für den LÜB-Standort Stadtring Süd für das Bezugsjahr 2015 mit dem Screening-Modell IMMIS^{emluft} [5] zu ermitteln.

2 Rechtliche Beurteilungsgrundlagen

Im Rahmen der vorliegenden lufthygienischen Untersuchung ist die Luftschadstoffbelastung hinsichtlich des Schutzes der menschlichen Gesundheit zu bewerten. Für die Beurteilung der Immissionen sind die entsprechenden Beurteilungswerte der 39. BImSchV [10] maßgebend. Die 39. BImSchV ist Teil der Umsetzung der von der Europäischen Union vorgegebenen Luftqualitätsrichtlinien [12] in deutsches Recht.

In der vorliegenden Untersuchung werden die v. a. vom Straßenverkehr emittierten Schadstoffe Stickstoffoxide NO_x (Summe aus NO und NO_2) und NO_2 behandelt. Diese Schadstoffkomponenten gelten als Leitsubstanzen, weil die Luftbelastung mit anderen in der 39. BImSchV limitierten Schadstoffen in Bezug zu den zugehörigen Grenzwerten deutlich geringer ist.

Die zum Schutz der menschlichen Gesundheit maßgeblichen Grenzwerte der o. g. Leitsubstanzen sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1. Immissionsgrenzwerte zum Schutz der menschlichen Gesundheit nach 39. BImSchV [10] für die Leitsubstanzen.

Schadstoffkomponente Bezugszeitraum	Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Zulässige Überschreitungen im Kalenderjahr
Stickstoffdioxid NO_2		
Jahresmittel	40	-
Stundenmittel	200	18

3 Örtliche Gegebenheiten und Rechenverfahren

3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

Würzburg liegt im sogenannten Maindreieck in einem Talkessel im mittleren Maintal. Durch die Stadt fließt der Main, das bedeutendste Fließgewässer der Region. Würzburg ist historisch ein bedeutender Knotenpunkt für den Verkehr.

Die Stadt Würzburg wird im Süden von der A 3 und im Osten von der A 7 tangiert. Diese Autobahnen treffen sich am Autobahnkreuz Biebelried, das sich südöstlich des Stadtgebietes befindet. Die B 19 verbindet die A 3 mit der A 7 zwischen den Anschlussstellen Heidingsfeld und Estenfeld diagonal. Im Verlauf dieser Verbindungsstrecke liegt die Ortsdurchfahrt durch das Stadtgebiet Würzburg. Die Fahrstrecke über die B 19 ist mit ca. 9 km deutlich geringer als die Fahrstrecke von 24 km auf den Autobahnen zwischen den Anschlussstellen Heidingsfeld und Estenfeld. Der Schwerlastverkehr profitiert neben der geringeren Fahrzeit auf der weit kürzeren Diagonalverbindung über die B 19 zudem von einer Mautersparnis. Die LÜB-Messstation Stadtring Süd liegt unmittelbar an der B 19 im innerstädtischen Bereich von Würzburg (Abbildung 1).



Abbildung 1. Topografische Karte Würzburg [15], LÜB-Messort Stadtring Süd blau markiert.

Abbildung 2 zeigt einen Lageplan und ein Luftbild je mit Markierung des Messorts Stadtring Süd in Würzburg. Die Messstation Stadtring Süd in Würzburg (Abbildung 3) wird vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) seit November 2005 betrieben und ist eine verkehrsnaher Messstation für den Innenstadtverkehr.

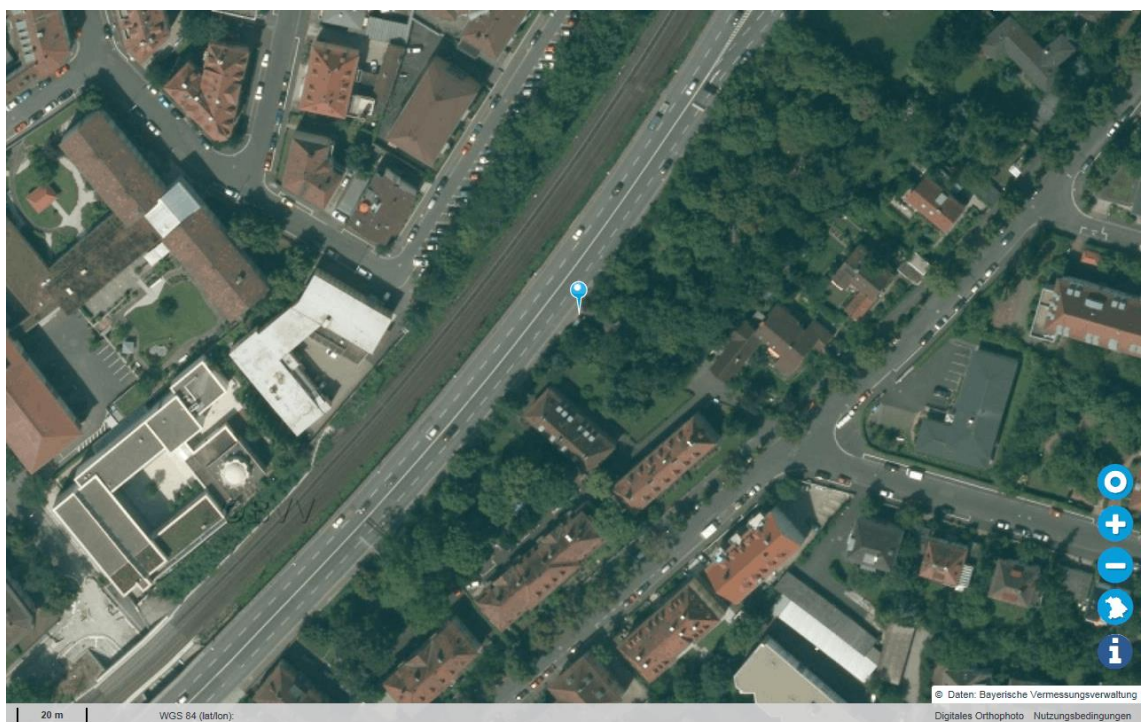
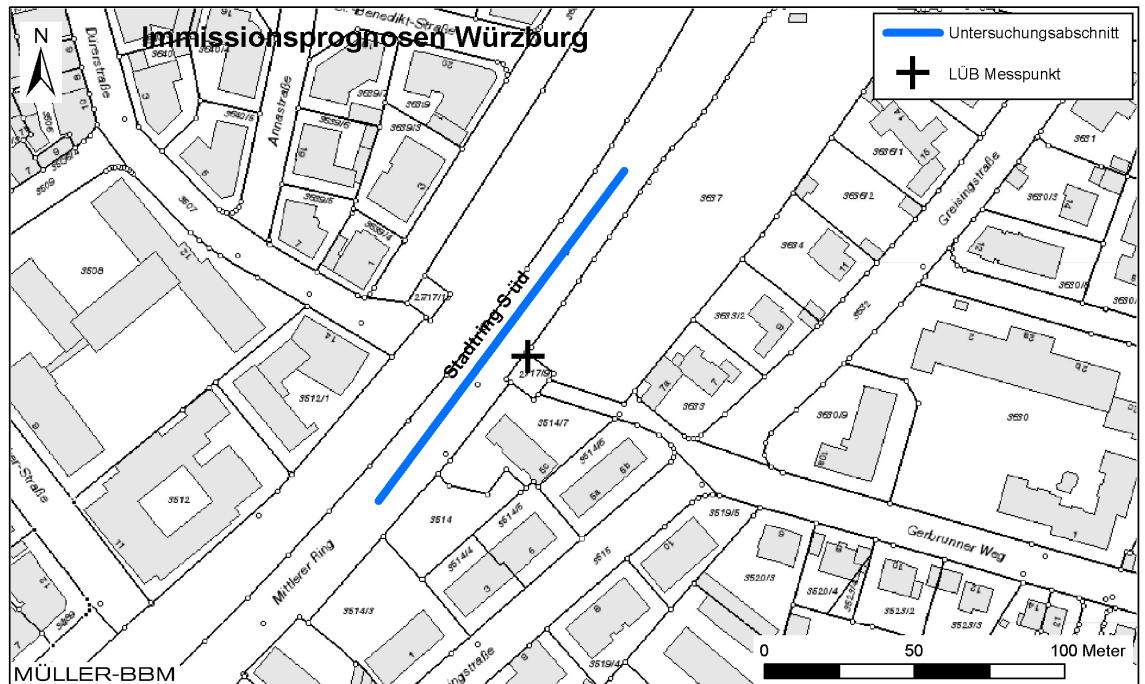


Abbildung 2. Messort Stadtring Süd in Würzburg, Lageplan (oben) und Luftbild (unten) [16].



Abbildung 3. Blick auf den LÜB-Messcontainer Stadtring Süd in Würzburg, Richtung Südwesten (oben) und Richtung Nordosten (Mitte und unten) [11].

3.2 Luftschadstoffmessungen in Würzburg

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) betreibt das Lufthygienische Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB). An den Stationen werden kontinuierlich die bodennahen Konzentrationen von Luftschadstoffen gemessen. In der Stadt Würzburg werden derzeit folgende Messstationen betrieben:

- Messstation Würzburg Kopfklinik: Die Station wird seit 1975 betrieben. Es handelt sich um eine Messstation, die als vorstädtische Hintergrundstation klassifiziert ist.
- Messstation Würzburg Stadtring Süd: Die Station wird seit November 2005 betrieben und ist eine verkehrsnahe Messstation im städtischen Gebiet.

Die LÜB-Station „Kardinal-Faulhaber-Platz“ in Würzburg wurde vom 1.1.1975 bis zum 31.12.2011 betrieben. Die Station „Theodor-Heuss-Damm“ war von 1978 bis 2003 in Betrieb.

Die statistischen Auswertungen der Messungen werden in Jahresberichten veröffentlicht [6]. Die Jahresauswertungen der letzten Jahre für die o. g. Messstationen und der nächstgelegenen Hintergrundstation Schweinfurt sind zusammen mit den Klassifizierungen der Stationen in der Tabelle 2 aufgeführt. Die Stationen werden vom Betreiber entsprechend ihrer Lage in Bezug zu den wesentlichen Emittenten klassifiziert.

Die Messdaten dokumentieren die anhaltende Überschreitung des NO₂-Grenzwertes an der verkehrsbezogenen Station Stadtring Süd.

Tabelle 2. Messdaten (Jahreskenngößen) der LÜB-Messstationen in Würzburg und der Hintergrundstation Schweinfurt sowie deren Klassifizierung [6].²

Station	Jahr	NO ₂ [µg/m ³]	PM ₁₀ [µg/m ³]	PM ₁₀ -TM>50 [-]	Stations- klassifizierung
Würzburg Stadtring Süd	2010	44	27	17	städtisch, Verkehr
	2011	44	28	36	
	2012	42	26	19 (17)*	
	2013	42	27	19 (17)*	
	2014	41	25	18 (18)*	
	2015	42	25	17 (17)*	
Würzburg Kopfclinic	2010	31	--	--	vorstädtisch, Hintergrund
	2011	29	--	--	
	2012	--	18	3	
	2013	--	18	8	
	2014	--	17	7	
	2015	--	16	5	
Schweinfurt Obertor	2010	32	23	13	städtisch, Hintergrund
	2011	27	22	16	
	2012	28	18	7	
	2013	26	18	6	
	2014	25	17	5	
	2015	25	17	3	

* in Klammern: Anzahl Überschreitungstage korrigiert auf Grund der Ausbringung von Streusalz

3.3 Umweltzone

In Würzburg gibt es derzeit keine Umweltzone mit Einfahrverboten für Fahrzeuge. Als Maßnahme zur Luftreinhaltung wird aktuell geplant, eine Umweltzone in der Innenstadt von Würzburg einzurichten. Eine Umweltzone war eine in der 1. Fortschreibung 2010 des Luftreinhalteplans Würzburg [7] geprüfte, jedoch nicht aufgenommene Maßnahme.

In die geplante Umweltzone sollen nur Autos mit grüner Plakette (gemäß 35. BImSchV [2]) einfahren dürfen. Die Berechnungen zur Verursachermanalyse für das Bezugsjahr 2015 berücksichtigen keine Umweltzone.

² Die LÜB-Stationen Kardinal-Faulhaber-Platz und Theodor-Heuss-Damm in Würzburg werden nicht mehr betrieben.

3.4 Rechenverfahren zur Ermittlung der verkehrsbedingten lokalen Zusatzbelastung

Die Berechnung der Luftschadstoffkonzentrationen im betrachteten Straßenabschnitt erfolgt mittels des Rechenprogramms IMMIS-Em/Luft Version 6.1 [5]. IMMIS-Em/Luft oder IMMIS^{em/luft3} ist ein Screening-Programm zur Bestimmung der Luftschadstoff-Emissionen und -Immissionen in Innenstädten. IMMIS^{em/luft} integriert die Modelle IMMIS^{em} für die Berechnung der Emissionen und IMMIS^{luft} zur Berechnung der Immissionen. IMMIS^{em/luft} berechnet die durch Kraftfahrzeuge erzeugten Emissionen und modelliert die Ausbreitung der Luftschadstoffe im Straßenraum. Die Ausbreitungsmodellierung beruht auf dem Canyon-Plume-Box-Modell (CPB-Modell) für Straßenschluchten und einem Box-Modell für offene Bebauungen⁴. Dem Rechenverfahren sind eine 10-Jahres-Klimatologie des DWD, sowie ein Satz von Tages-, Wochen- und Jahresgängen hinterlegt [4].

IMMS^{em/luft} erlaubt die Berechnung der lokalen verkehrsbedingten Zusatzbelastung in einer innerstädtischen Straße in Abhängigkeit von der Straßenraumgeometrie, sowie der Porosität und Höhe der Straßenrandbebauung. Die Porosität ist ein Maß für die Geschlossenheit der Randbebauung. Die dabei eingehenden Emissionen der Straße werden unter Berücksichtigung der Verkehrsmengen und Emissionsfaktoren für unterschiedliche Verkehrssituationen nach HBEFA [3] vom internen Emissionsmodul berechnet. Im vorliegenden Fall wurden die Emissionsfaktoren mit einer für Würzburg abgeleiteten Fahrzeugflotte (siehe 4.1.2) und den Schichtemissionsfaktoren des HBEFA 3.2 ermittelt.

Die Ermittlung der Luftschadstoffimmission (Gesamtbelastung) erfolgt programmintern durch Überlagerung der lokalen Zusatzbelastung in der Straße und der Vorbelastung (4.2).

³ Programmbezeichnung laut Handbuch

⁴ „Vereinfachte 2-D-Modellierung“ gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 14 [14]

4 Technische Grundlagen

4.1 Emissionen Straßenverkehr

4.1.1 Verkehrsmengen Stadtring Süd

Für den Stadtring Süd in Würzburg liegen Daten aus Verkehrszählungen der Stadt Würzburg aus dem Jahr 2015 vor, die vom LfU zur Verfügung gestellt wurden [17] und in Tabelle 3 aufgelistet sind. Die Daten liegen für die Fahrzeugkategorien Personenkraftwagen Pkw, leichte Nutzfahrzeuge LNfz (zulässiges Gesamtgewicht zGG ≤ 3,5 t), schwere Nutzfahrzeuge SNfz (zGG > 3,5 t) und Busse vor. Diese wurden für Ermittlung der Emissionen zugrunde gelegt.

Tabelle 3. Verkehrszählungen Stadtring Süd Würzburg 2015 [17].

Straßenabschnitt	DTV	Pkw	LNfz	SNfz	BUS
	[Kfz/24h]	[Kfz/24h]	[Kfz/24h]	[Kfz/24h]	[Kfz/24h]
Stadtring Süd	40.820	36.575	2.449	1.674	122

4.1.2 Flottenzusammensetzung

Für die Zulassungsbezirke Würzburg, Würzburg-Stadt, Kitzingen, Main-Tauber und Main-Spessart wurden vom LfU die Zulassungszahlen differenziert nach Schadstoffklassen zur Verfügung gestellt. Die Zulassungszahlen (Kfz-Meldebstand am 01.01.2015) liegen getrennt für Personenkraftwagen (Pkw), für leichte Nutzfahrzeuge ≤ 3,5 t zGG (LNfz), für schwere Nutzfahrzeuge >3,5 t zGG (SNfz) und Busse (BUS) vor. Die daraus zusammengefassten Angaben zur statischen Fahrzeugflotte in der Region Würzburg [17] sind in der Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4. Kfz-Zulassungsstatistik (Stand 01.01.2015) nach Schadstoffklassen in der Region Würzburg [17].

Schadstoffnorm	PKW				LNfz		SNfz		BUS	
	Benzin		Diesel		<=3,5t zGG		>3,5t zGG		Anzahl	
	Anzahl		Anzahl		Anzahl		Anzahl		Anzahl	
Euro1	8.570	2,3%	1.041	0,3%	1.196	7,6%	175	3,0%	9	1,7%
Euro2	46.204	12,4%	10.509	2,8%	1.971	12,5%	603	10,4%	94	17,6%
Euro3	30.026	8,0%	25.094	6,7%	5.642	35,8%	1.238	21,4%	144	26,9%
Euro4	103.243	27,7%	39.044	10,5%	1.465	9,3%	508	8,8%	53	9,9%
Euro5	52.730	14,1%	49.988	13,4%	5.459	34,6%	2.864	49,6%	220	41,1%
Euro6	3.995	1,1%	2.824	0,8%	33	0,2%	386	6,7%	15	2,8%
alle	244.768	66%	128.500	34%	15.766	100%	5.774	100%	535	100%

In der Berechnung der Fahrzeugflotte für die Innenstadt von Würzburg wurde angenommen, dass etwa 5 % der LNfz einen mit Benzin betriebenen Motor besitzen und ansonsten mit Dieselmotoren betrieben werden. Der Ansatz basiert auf den im HBEFA 3.2 [3] hinterlegten Anteilen der Fahrzeuge.

Zudem ist eine Korrektur der „statischen“ Häufigkeiten der Schadstoffklassen aus den Zulassungsdaten in „dynamische“ Fahrleistungsanteile vorzunehmen, da z. B. die mittleren Fahrleistungen pro Jahr von Diesel-Pkw höher sind als die von Otto-Pkw. Die Korrekturen wurden für alle Fahrzeugschichten entsprechend den im HBEFA 3.2 angegebenen Verhältnissen angesetzt, die auf umfangreichen Kennzeichenauswertungen sowie Auswertungen der bundesweiten Fahrleistungserhebungen basieren [3].

Die derart aus der statischen Flotte (Tabelle 4) unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Jahresfahrleistungen ermittelte dynamische Fahrzeugflotte ist in Tabelle 5 angegeben. Die dynamische Flotte wird als lokale Fahrzeugflotte bei den Berechnungen angesetzt. Bei den Berechnungen wurde bei den Bussen außerdem ein Anteil von 10 % Reisebussen mit einer Flotte gemäß HBEFA 3.2 angesetzt.

Tabelle 5. Fahrleistungsanteile nach Schadstoffklassen für Würzburg.

Schadstoffnorm	PKW		LNfz		SNfz	BUS
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Diesel	Diesel
Euro1	1,2%	0,2%	0,2%	3,9%	1,6%	0,3%
Euro2	7,4%	2,9%	0,3%	8,1%	6,4%	3,8%
Euro3	5,4%	7,3%	1,3%	26,8%	15,9%	7,4%
Euro4	22,1%	13,9%	0,5%	9,3%	7,7%	14,2%
Euro5	13,1%	24,1%	2,5%	46,9%	58,2%	69,1%
Euro6	1,0%	1,5%	0,0%	0,3%	10,2%	5,2%
alle	50%	50%	5%	95%	100%	100%

Nach der für Würzburg abgeleiteten Flottenzusammensetzung (Tabelle 5) ergeben sich folgende Dieselanteile für die verschiedenen Fahrzeugarten (Tabelle 6).

Tabelle 6. Anteile der mit Dieseldkraftstoff betriebenen Fahrzeuge in der Fahrzeugflotte Würzburg 2015.

Dieselanteil			
Pkw	LNfz	SNfz	BUS
50%	95%	100%	100%

4.1.3 Emissionsfaktoren der Kfz

Die Berechnung der verkehrsbedingten Emissionen (Menge der von den Fahrzeugen erzeugten Schadstoffe) erfolgte mit dem Verfahren IMMIS^{em} [5] auf der Grundlage des aktuellen Handbuchs „Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA 3.2“ [3] und der in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Fahrzeugflotte.

In IMMIS^{em/luft} sind Startzuschläge für Fahrzeuge mit nicht betriebswarmen Motoren nach HBEFA 3.2 implementiert, die den „warmen“ Emissionsfaktoren aufaddiert

werden. Die Startzuschläge liegen in HBEFA 3.2 nur für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge vor. Für Busse und schwere Nutzfahrzeuge stehen keine Startzuschläge zur Verfügung. Die Startzuschläge wurden für den IMMIS^{em/luft} Kaltstarttyp "D_AvgHBEFA" berechnet.

4.2 Vorbelastung

Die Vorbelastung setzt sich zusammen aus der regionalen und der städtischen Hintergrundbelastung. Die regionale Hintergrundbelastung wurde vom Auftraggeber aus den Messwerten der LÜB-Messstationen Würzburg Kopfklinik und Schweinfurt der Jahre 2013 bis 2015 [17] abgeleitet. Demnach sind im Jahresmittel für Würzburg folgende regionalen Hintergrundbelastungen anzusetzen:

- NO₂ 7 µg/m³
- NO_x 10 µg/m³
- O₃ 59 µg/m³

In der Verursacheranalyse [9] wurde die städtische Hintergrundbelastung für das Bezugsjahr 2015 durch Ausbreitungsrechnungen unter Berücksichtigung der Emissionengruppen Kfz-Verkehr (Hintergrundanteil)⁵, Industrie, Gewerbe, Hausbrand und Sonstiger Verkehr⁶ ermittelt. Ergebnis der Untersuchung war eine Vorbelastung (Summe aus regionaler und städtischer Hintergrundbelastung) für das Bezugsjahr 2015 von

- NO₂ 27 µg/m³

4.3 Meteorologische Daten

Zur Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen wird eine einjährige Zeitreihe der Station Würzburg des Deutschen Wetterdienstes (DWD) herangezogen. Die an der Wetterstation Würzburg gemessenen Winddaten sowie die Ausbreitungsclassen des Jahres 2012 liegen als meteorologische Zeitreihe (AKTerm) mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde vor [8]. Das Jahr 2012 wurde vom Deutschen Wetterdienst hinsichtlich der Ausbreitungsbedingungen (Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Ausbreitungsclassen) zum repräsentativen Jahr für den Standort bestimmt [1]. Am Standort beträgt die mittlere Windgeschwindigkeit 3,3 m/s in der Messhöhe von 10 m über Grund.

Für die Immissionsberechnungen mit IMMIS^{em/luft} wird die mittlere Windgeschwindigkeit von 3,3 m/s als Überdach-Windgeschwindigkeit angesetzt. Diese Überdach-Windgeschwindigkeit entspricht einer Windgeschwindigkeit von 2,5 m/s in 10 m Höhe über Grund.

⁵ Verkehr auf dem Straßennetz in Augsburg ohne lokalen Verkehr

⁶ Bahn-, Schiffs- und Flugverkehr

5 Ergebnisse

5.1 Methodik

In der vorliegenden Untersuchung ist für den in der Verursacheranalyse [9] ermittelten Verursacheranteil „lokaler Verkehr“ eine weitere Unterteilung für die Fahrzeugkategorien Personenkraftwagen (Pkw) und leichte Nutzfahrzeuge (LNfz), jeweils differenziert nach Benzin betrieben und Diesel betrieben, sowie Busse (BUS) und schwere Nutzfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht >3,5 t (SNfz) vorzunehmen. Die Anteile sind für den Schadstoff NO₂ für den LÜB-Standort Stadtring Süd für das Bezugsjahr 2015 mit dem Screening-Modell IMMIS^{em/luft} [5] zu ermitteln.

Die Emissionen des Kfz-Verkehrs am Stadtring Süd in Würzburg wurden anhand der Verkehrszähl Daten 2015 (Abschnitt 4.1.1, Tabelle 3) und der für 2015 ermittelten Fahrzeugflotte (Abschnitt 4.1.2) mit dem Verfahren IMMIS^{em/luft} [5] mit den in IMMIS^{em/luft} angesetzten Parameter (Tabelle 7) berechnet. Neben der Verkehrssituation „Agglomeration / Hauptverkehrsstraße“ (Ahvs), d. h. Hauptverkehrsstraße in einem Ballungsraum, sind die Längsneigung und die angesetzten Verkehrsqualitäten nach HBEFA 3.2, die Level Of Service⁷ (LOS) angegeben. Die LOS unterscheiden zwischen freiem Verkehr (LOS 1), dichtem Verkehr (LOS 2), gesättigtem Verkehr (LOS 3) und Verkehrsstau (LOS 4).

Tabelle 7. Parameter Stadtring Süd zur Emissions- und Immissionsberechnung mit IMMIS^{em/luft} ⁸

Straßenabschnitt	Verkehrssituation	Längsneigung	LOS1 (frei)	Verkehrsqualität			LOS4 (Stop&Go)	Bebauung		
				LOS2 (dicht)	LOS3 (gesättigt)	in %		Porosität	Breite	Höhe
										in m
Stadtring Süd	Ahvs50	2%	0,0	100,0	0,0		0,0	75	18	6

Die Anteile der einzelnen Fahrzeugkategorien am Beitrag des lokalen Verkehrs am LÜB-Messstandort Stadtring Süd in Würzburg an der NO₂-Immission wurden separat mit IMMIS^{em/luft} berechnet. Die Parameter für die Berechnungen wurden aus der Verursacheranalyse [9] übernommen. Der NO₂-Beitrag des lokalen Verkehrs wurde mit dem in IMMIS^{em/luft} [5] integrierten Photochemieansatz ermittelt.

Die ermittelten Immissionsbeiträge der o. g. Fahrzeugkategorien stellen aufsummiert den Beitrag des lokalen Verkehrs dar. Durch weitere Addition der regionalen Hintergrundbelastung und der städtischen Hintergrundbelastung (Vorbelastung) erhält man die Gesamtbelastung am Standort Stadtring Süd.

⁷ Level of Service (LOS) dienen zur Abbildung von Verkehrsqualitäten (freier, dichter, gesättigter Verkehrsfluss und Stau) und sind Bestandteil der Definition von Verkehrssituationen nach HBEFA [3].

⁸ Die Parameter zur Bebauung wurden entsprechend den Gegebenheiten am LÜB-Messcontainer gewählt.

5.2 Ermittelte Emissionen des Straßenverkehrs auf dem Stadtring Süd

Die für den Stadtring Süd im Bezugsjahr 2015 für die verschiedenen Fahrzeugkategorien und Antriebsarten zugrunde gelegten Verkehrszahlen (Tabelle 8) wurden gemäß den Ausführungen in 4.1.1 und 4.1.2 abgeleitet.

Tabelle 8. Verkehrszusammensetzung nach Fahrzeugkategorie und Antriebsart.

Antrieb/ Kraftstoff	Pkw [Kfz/24h]	LNfz [Kfz/24h]	SNfz [Kfz/24h]	BUS [Kfz/24h]
Diesel	18.194	2.332	1.674	122
Benzin	18.381	117	0	0
alle	36.575	2.449	1.674	122

Die damit ermittelten NO_x- und NO₂-Emissionen sind in Tabelle 9 angegeben. Die relativen Anteile der Benzin-Pkw und der Dieselfahrzeuge sind in der Abbildung 4 dargestellt. Auf dem Stadtring Süd werden 46 % der lokalen NO_x-Emissionen und 71 % der lokalen NO₂-Emissionen von Diesel-Pkw verursacht. Dies ist auf die deutlich höheren primären NO₂-Emissionen bei Dieselfahrzeugen gegenüber Benzinern zurückzuführen. Dieselfahrzeuge insgesamt (Pkw, LNfz, SNfz und BUS) sind für 86 % der NO_x- und für 97 % der NO₂-Emissionen am Stadtring Süd verantwortlich.

Tabelle 9. NO_x- und NO₂-Emissionen Stadtring Süd 2015.

Fahrzeugkategorie	Emissionen 2015	
	NO _x	NO ₂
	in g/(m*d)	
Benzin-Pkw Stadtring Süd	3,23	0,16
Benzin-LNfz Stadtring Süd	0,02	0,00
Diesel-Pkw Stadtring Süd	10,64	3,69
Diesel-LNfz Stadtring Süd	1,75	0,50
SNfz Stadtring Süd	6,79	0,66
Bus Stadtring Süd	0,85	0,17
Summe aller Kfz	23,28	5,18

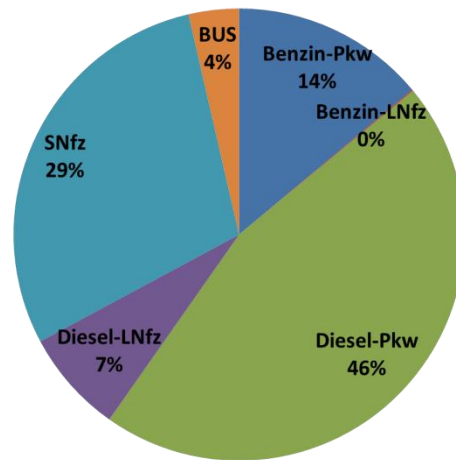
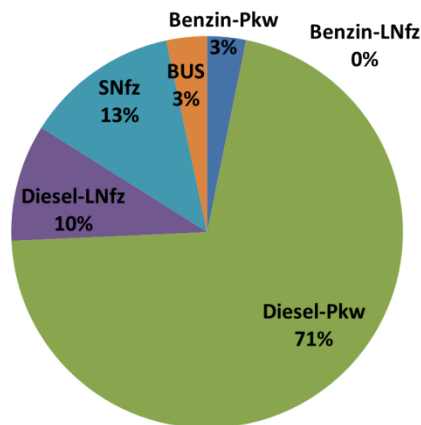
NO_x-Emissionen Stadtring Süd Würzburg**NO₂-Emissionen Stadtring Süd Würzburg**

Abbildung 4. Aufteilung der NO_x-Emissionen (oben) und der NO₂-Emissionen (unten) auf dem Stadtring Süd 2015 auf verschiedene Kfz- und Motortypen.

5.3 Verursacheranteile nach Fahrzeugkategorien im Jahr 2015

Die NO₂-Immission an der LÜB-Messstation Stadtring Süd setzt sich aus Beiträgen unterschiedlicher Verursacher zusammen. Im Folgenden sind die entsprechenden Verursacherbeiträge dargestellt.

Beitrag der regionalen Hintergrundbelastung (4.2)

Beitrag der städtischen Hintergrundbelastung (4.2), die resultiert aus

- Verkehrsabgasen anderer Straßen im Stadtgebiet (Kfz-Verkehr Hintergrund)
- Industrielle und gewerbliche Abgase im Stadtgebiet
- Hausbrand im Stadtgebiet
- Sonstiger Verkehr

Beitrag des lokalen Verkehrs

- Verkehrsabgase der lokalen Kfz-Flotte.

Der Beitrag des lokalen Verkehrs zur NO₂-Immission an der Messstation Stadtring Süd wurde in der Verursacheranalyse [9] aus der Verkehrsstärke, der mittleren Windgeschwindigkeit und der Bebauungsgeometrie mit dem Ausbreitungsmodell für verkehrsbedingte Immissionen IMMIS^{em/luft} Version 6.0 [5] abgeschätzt. Am Straßenabschnitt in der Nähe der LÜB-Messstation Stadtring Süd beträgt die vom lokalen Verkehr verursachte NO₂-Immission 15,1 µg/m³.

Die Gesamtbelastung setzt sich an der verkehrsbezogenen LÜB-Messstation als Summe aus a) regionalem Hintergrund, b) städtischem Hintergrund und c) dem Beitrag des lokalen Verkehrs zusammen.

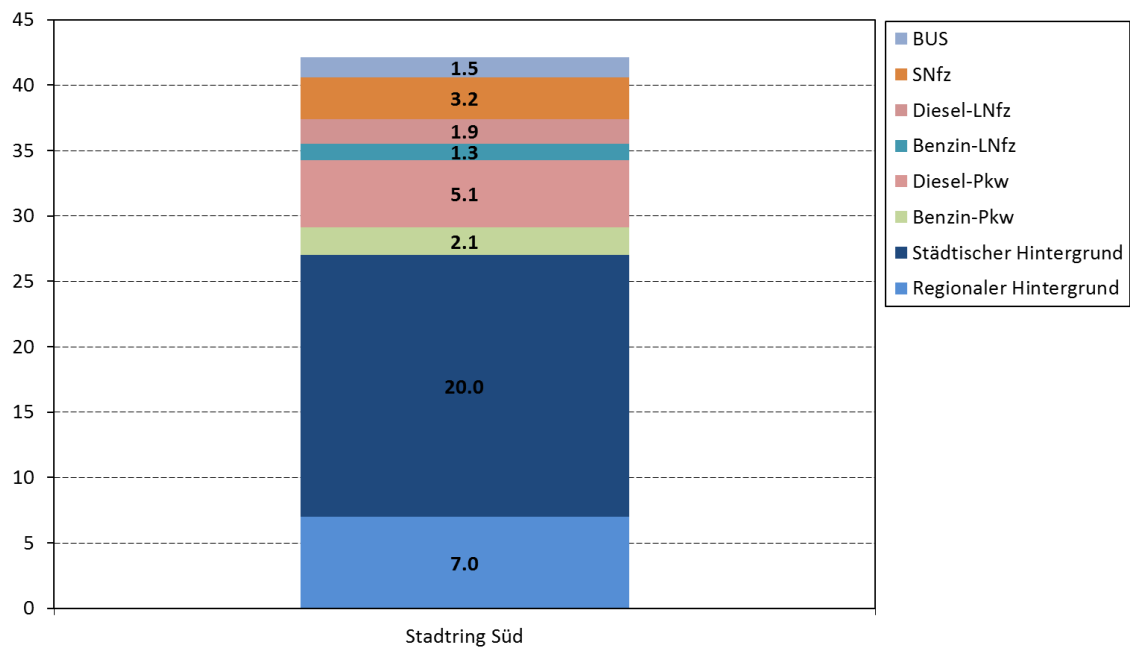
In Tabelle 10 sind für das Jahr 2015 neben der regionalen und städtischen Hintergrundbelastung die für die einzelnen Fahrzeugkategorien (Diesel-Pkw, Benzin-Pkw, SNfz und Busse) ermittelten NO₂-Beiträge des lokalen Verkehrs am Stadtring Süd dargestellt. Die Verteilung dieser Verursacheranteile an den NO₂-Immissionen ist in Abbildung 5 dargestellt.

Es ist zu beachten, dass es nicht ohne weiteres möglich ist, NO₂-Beiträge zu addieren, da das System aus Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) photochemischen Umwandlungen unterliegt, die nicht-lineare Abhängigkeiten haben. Hieraus ergeben sich gewisse Unsicherheiten für die Berechnung der NO₂-Immissionsanteile.

Tabelle 10. Verursacheranteile der Fahrzeugkategorien am Standort Stadtring Süd Würzburg.

Würzburg Stadtring Süd 2015	Stickstoffdioxid (NO ₂)		
	Konzentration [µg/m ³]	Anteile Gesamt	Anteile lokaler Verkehr
Prognosewert (Jahresmittel)	42,1	100%	
Regionaler Hintergrund	7,0	17%	
Städtischer Hintergrund	20,0	47%	
Benzin-Pkw	2,1	5%	14,1%
Benzin-LNfz	1,3	3%	8,3%
Diesel-Pkw	5,1	12%	34,0%
Diesel-LNfz	1,9	4%	12,4%
SNfz	3,2	8%	21,1%
BUS	1,5	4%	10,1%
Lokaler Verkehr	15,1	36%	100,0%

NO₂-Immissionsanteile Stadtring Süd 2015 in µg/m³



NO₂-Immissionsanteile Stadtring Süd 2015 in %

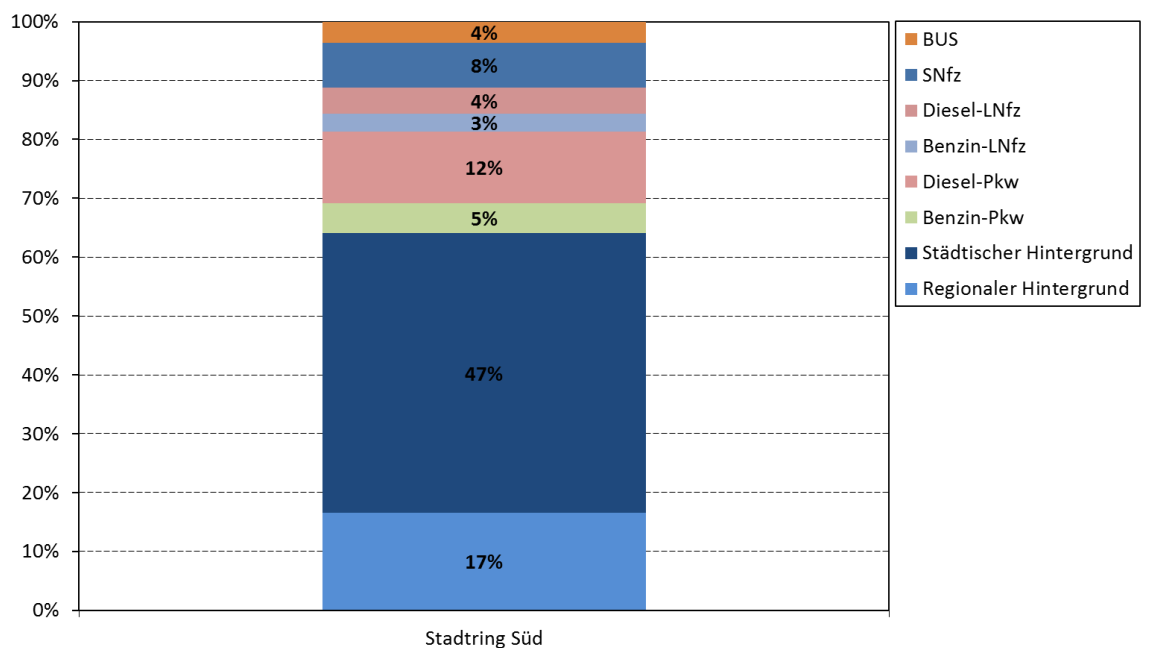


Abbildung 5. NO₂-Immissionsanteile an der LÜB-Messstation Stadtring Süd in Würzburg für das Bezugsjahr 2015.

Der Einfluss des Verkehrs auf die NO₂-Immissionen ist deutlich. Berücksichtigt man die Verkehrsbelastung aus dem städtischen Hintergrund, so ist an der LÜB-Messstation Stadtring Süd mehr als 80 % der NO₂-Gesamtbelastung vom Verkehr verursacht [9]. Der Anteil der regionalen Hintergrundbelastung beträgt dagegen nur 17 %.

Am Straßenabschnitt in der Nähe der LÜB-Messstation Stadtring Süd beträgt die vom lokalen Verkehr verursachte NO₂-Immission 36 % der Gesamtbelastung. Der Immissionsanteil des lokalen Straßenverkehrs, jeweils bezogen auf die NO₂-Gesamtbelastung, wird zu 12 % von Diesel-Pkw, zu 4 % von Diesel-LNfz, zu 8 % von SNfz und zu 4 % von Bussen verursacht. Nur 5 % der NO₂-Gesamtbelastung entstammen den Abgasen von Benzin-Pkw, dazu kommen 3 % von Benzin-LNfz.

Betrachtet man nur den lokalen NO₂-Verkehrsbeitrag von 15,1 µg/m³, so wird dieser zum überwiegenden Anteil von Diesel-Kfz verursacht: Diesel-Pkw 34 % (5,1 µg/m³), Diesel-LNfz 12 % (1,9 µg/m³), SNfz 21 % (3,2 µg/m³) und Busse 10 % (1,5 µg/m³). Mit Dieselmotoren betriebene Fahrzeuge verursachen insgesamt ca. 78 % des lokalen NO₂-Verkehrsanteils (Immissionen) an der Messstation Stadtring Süd.

5.4 Auswirkungen fiktiver Ansätze auf die NO₂-Immissionsbelastung

Im Folgenden wird untersucht, wie sich der Ausschluss verschiedener Dieselfahrzeuge

- Ausschluss schwerer Nutzfahrzeuge SNfz (zulässiges Gesamtgewicht > 3,5 t)⁹,
- Ersatz der Diesel-Pkw-Flotte durch Benzin-Pkw

auf die NO₂-Immissionssituation auswirken würde. Die Vorbelastung (Summe aus regionaler und städtischer Hintergrundbelastung) wurde für die Prognosen vereinfacht mit 27 µg/m³ als konstant angenommen. Die Wirkung der Maßnahmen auf den verkehrsbedingten Anteil der städtischen Hintergrundbelastung wird nicht abgebildet.

Wie Abbildung 6 verdeutlicht, wird im Istzustand 2015 am LÜB-Standort im Stadtring Süd die NO₂-Gesamtbelastung von 42 µg/m³ etwa zu einem Drittel (15,1 µg/m³) durch den lokalen Verkehr verursacht. Durch den Ausschluss der SNfz könnte eine Minderung der NO₂-Immission von etwa -8 % (-3,2 µg/m³) erreicht werden. Durch den vollständigen Ersatz der Diesel-Pkw durch Benzin-Pkw, wäre eine NO₂-Minderung von -12 % (-5,1 µg/m³) zu erreichen. Damit wäre unter Berücksichtigung des Ausschlusses der SNfz ein Prognosewert von 39 µg/m³ und bei Ersatz der Diesel-Pkw durch Benzin-Pkw ein Prognosewert von 37 µg/m³ erreicht, die jeweils unter dem NO₂-Grenzwert für das Jahresmittel liegen. Werden beide Szenarien kombiniert, könnte eine Minderung der NO₂-Belastung im Stadtring Süd um -20 % (-8,3 µg/m³) erreicht werden.

⁹ Seit dem 01.02.2016 ist aufgrund eines einstimmigen Votums des Würzburger Stadtrates der Stadtring Süd für Lkw ab 3,5 t mit Ausnahme des Lieferverkehrs für Stadt und Landkreis Würzburg gesperrt [18].

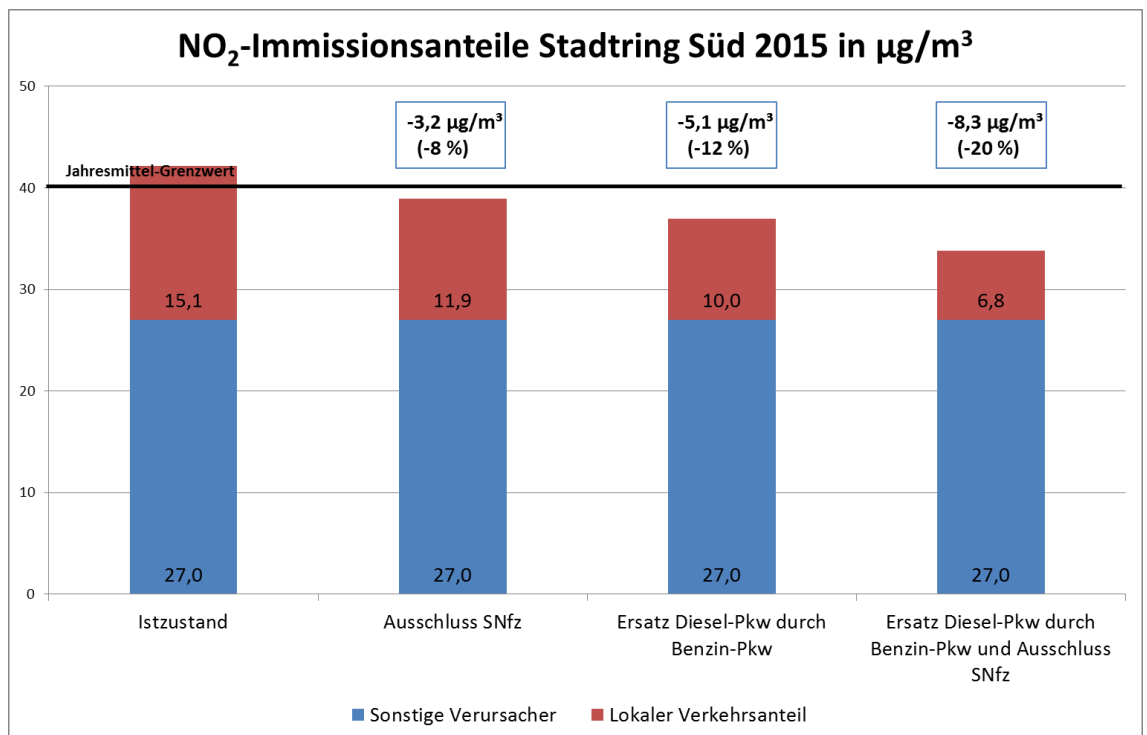


Abbildung 6. NO₂-Immissionsanteile der Kfz-Flotte unter Berücksichtigung verschiedener Szenarien.

6 Grundlagen, verwendete Literatur

Bei der Erstellung des Gutachtens wurden die folgenden Unterlagen verwendet:

- [1] DWD, Ermittlung eines repräsentativen Jahres für die Station Würzburg, Bezugszeitraum: 2007 – 2015, repräsentatives Jahr: 2012. Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Klima- und Umweltberatung, Offenbach, 25.02.2016.
- [2] Fünfunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung - 35. BImSchV) vom 10. Oktober 2006 (BGBl. I, Nr. 46, S. 2218), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 5. Dezember 2007 (BGBl. I, Nr. 61, S. 2793), in Kraft getreten am 8. Dezember 2007.
- [3] Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA, Version 3.2, 17. Juli 2014, INFRAS Bern/Zürich, www.hbefa.net.
- [4] Handbuch IMMISem/luft/lärm zur Version 6, IVU Umwelt GmbH, Juni 2015.
- [5] IMMIS Version 6.1, DLL-Version 6.1, IMMIS-Em/Luft, Copyright (c) IVU Umwelt GmbH 1994-2015, Freiburg.
- [6] Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB), Jahresberichte, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, <http://www.lfu.bayern.de/luft>.
- [7] Luftreinhalteplan für die Stadt Würzburg, 1. Fortschreibung, erarbeitet von der Regierung von Unterfranken, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Dezember 2010.
- [8] Meteorologische Daten (Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Ausbreitungs-kategorie), Zeitreihe AKTerm der Station Würzburg für das repräsentative Jahr 2012. Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Klima- und Umweltberatung, Offenbach.
- [9] Müller-BBM (2016): Berechnungen im Rahmen der 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für die Stadt Würzburg - Verursacheranalyse für NO_x, NO₂ und PM₁₀ für den LÜB-Standort Würzburg, Stadtring Süd für das Bezugsjahr 2015, Müller-BBM Bericht Nr. M124786/01, August 2016.
- [10] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV) vom 02.08.2010 (BGBl. I S. 1065), zuletzt geändert durch Artikel 87 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I Nr. 35, S. 1474).
- [11] Ortsbesichtigung am 10.05.2016 mit Fotodokumentation.
- [12] Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union vom 11.06.2008, Nr. L152/1.
- [13] Richtlinie VDI 3782 Blatt 7: Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung – Luftbeimengungen. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, November 2003.

- [14] Richtlinie VDI 3783 Blatt 14: Umweltmeteorologie - Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung – Kraftfahrzeugbedingte Immissionen. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, August 2013.
- [15] Topographische Karte Bayern, Maßstab 1:50.000, Geogrid®-Viewer V6, EADS Deutschland GmbH.
- [16] Topographische Karte und Luftbilder, BayernAtlas, Bayerische Vermessungsverwaltung, <http://geoportal.bayern.de/bayernatlas>.
- [17] Verkehrsmengen und Straßendaten, Flurkarten, Bebauungsdaten, Kfz-Zulassungszahlen, meteorologische Daten, Vorbelastungswerte und regionale Hintergrundbelastung, Emissionsdaten Industrie und Emissionskataster, Bayer. Landesamt für Umwelt, Augsburg, 17.03.2016.
- [18] Verkehrsverhältnisse Stadtring Süd, hier: Sperrung der Durchfahrt für Kfz über 3,5 t mit Ausnahme des Lieferverkehrs für Stadt und Landkreis Würzburg, verkehrsrechtliche Anordnung der Stadt Würzburg, Fachabteilung Tiefbau, 03.05.2016, <http://www.wuerzburg.de/de/themen/umwelt-verkehr/luftreinhaltung/luftig/412052.Sperrung-des-Stadtrings-Sd-fr-den-Lkw-Durchgangsverkehr.html>.