

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 Bösingher
Telefon +49(721)504379 15
Rainer.Boesinger@mbbm.com

15. August 2016
M124786/03 BSG/BSG

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

**Prüfung der Wirksamkeit einer
Umweltzone Stufe 3
in Würzburg für das Bezugsjahr 2015**

Bericht Nr. M124786/03

Auftraggeber:	Bayerisches Landesamt für Umwelt 86177 Augsburg
Auftragsnummer:	23-0270-13274/2016
Bearbeitet von:	Dr. rer. nat. Rainer Bösingher
Berichtsumfang:	Insgesamt 41 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	6
3 Örtliche Gegebenheiten	7
3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes	7
3.2 Untersuchungsabschnitt Stadtring Süd (LÜB-Messstation)	8
3.3 Untersuchungsabschnitt Bahnhofstraße	11
3.4 Untersuchungsabschnitt Textorstraße	13
3.5 Untersuchungsabschnitt Theaterstraße	15
3.6 Untersuchungsabschnitt Rennweg	17
3.7 Untersuchungsabschnitt Schweinfurter Straße	19
3.8 Untersuchungsabschnitt Grombühlstraße	21
3.9 Untersuchungsabschnitt Röntgenring	23
3.10 Untersuchungsabschnitt Zeller Straße	25
3.11 Untersuchungsabschnitt Sanderglaxisstraße	27
4 Technische Grundlagen	29
4.1 Rechenverfahren	29
4.2 Verkehrsmengen	30
4.3 Flottenzusammensetzung	31
4.4 Vorbelastung	32
4.5 Meteorologische Daten	33
5 Ergebnisse	34
5.1 Methodik	34
5.2 Emissionen Straßenverkehr 2015	34
5.3 Immissionsprognosen 2015	37
6 Grundlagen, verwendete Literatur	40

Zusammenfassung

Im Rahmen der 2. Fortschreibung des Luftreinhalteplans für die Stadt Würzburg sind verschiedene Untersuchungen durchzuführen. Im vorliegenden Gutachten wird für das Bezugsjahr 2015 die Wirksamkeit einer Stufe 3 der Umweltzone in Würzburg im Vergleich zur aktuell bestehenden Situation ohne Umweltzone untersucht.

Die Emissions- und Immissionsänderungen wurden für die Schadstoffe NO_x , NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10} mit dem Screening-Modell $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$ [7] auf Grundlage des aktuellen HBEFA 3.2 für die folgenden zehn Straßenabschnitte ermittelt:

- LÜB-Standort (Stadtring Süd)
- Bahnhofstraße
- Zeller Straße
- Theaterstraße
- Rennweg
- Grombühlstraße
- Schweinfurter Straße
- Röntgenring
- Textorstraße
- Sanderglaxisstraße

Die notwendigen Grundlagen, wie Verkehrszahlen und die Zulassungsstatistiken der Stadt Würzburg und die Bebauungsdaten wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

In der bestehenden Situation unterschreiten die Feinstaubimmissionen ($\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10}) an allen Untersuchungsabschnitten die Grenzwerte der 39. BImSchV für Jahresmittelwerte [12]. Auch die nach der 39. BImSchV zulässigen 35 Überschreitungstage für den Tagesgrenzwert von PM_{10} werden an den Untersuchungsabschnitten eingehalten.

Der NO_2 -Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel wird nach der Immissionsprognose 2015, abgesehen vom Rennweg, an allen betrachteten Untersuchungsabschnitten im Bestand überschritten. Am Rennweg wird nach den Berechnungen der NO_2 -Grenzwert eingehalten.

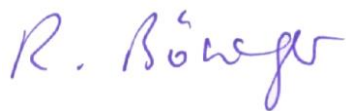
Nach den Berechnungen würde die Einführung einer Umweltzone der Stufe 3 im Jahr 2015 auf den untersuchten Straßenabschnitten im Vergleich zur Bestandssituation die NO_x -Emissionen zwischen 8 % und 12 %, die NO_2 -Emissionen um 7 % bis 9 %, die PM_{10} -Emissionen um 8 % bis 15 % und die $\text{PM}_{2,5}$ -Emissionen um 24 % bis 29 % reduzieren.

Die durch die Einführung einer Umweltzone der Stufe 3 im Jahr 2015 zu erwartenden Immissionsminderungen sind deutlich geringer als die o. a. Emissionsminderungen. Die Begründung dafür liegt darin, dass an den Untersuchungsabschnitten zumeist mehr als die Hälfte der Immissionen durch die städtische Vorbelastung verursacht wird, die in der vorliegenden Untersuchung in beiden Szenarien gleich angesetzt

wurde. Mögliche Änderungen der Flottenzusammensetzung außerhalb der Umweltzone durch den Ersatz alter durch emissionsärmere Fahrzeuge, die durch die Einführung der Stufe 3 der Umweltzone ausgelöst werden könnten, sind nicht quantifizierbar und wurden daher nicht berücksichtigt. Die Änderungen der Emissionen durch Einführung der Stufe 3 wirken sich daher in den Immissionsberechnungen nur auf die lokale Zusatzbelastung am Untersuchungsabschnitt aus.

Die Immissionsminderungen liegen bei den NO₂-Jahresmittelwerten zwischen 2,5 % und 4,1 % (0,9 µg/m³ bis 2,7 µg/m³), bei den PM_{2,5}-Jahresmittelwerten zwischen 2,3 % und 9 % (0,3 µg/m³ bis 1,7 µg/m³) und bei den PM₁₀-Immissionen im Jahresmittelwert zwischen 1,9 % und 5,9 % (0,4 µg/m³ bis 1,8 µg/m³).

Die Minderung der Immissionen durch die Einführung der Stufe 3 der Umweltzone reicht alleine nicht aus, um die Überschreitungen des NO₂-Grenzwertes an 7 von 10 Untersuchungsabschnitten zu gewährleisten.



Dr. rer. nat. Rainer Böwger

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 [9] erstellt. Auf Antrag der Stadt Würzburg wird der Luftreinhalteplan erneut fortgeschrieben.

In diesem Zusammenhang sind Berechnungen von NO_x , NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$ und PM_{10} durchzuführen. Aufgabe des vorliegenden Gutachtens ist die Untersuchung der Wirksamkeit der Einführung der Stufe 3 einer Umweltzone in Würzburg im Vergleich zur aktuell bestehenden Situation ohne Umweltzone für das Bezugsjahr 2015.

Die Emissions- und Immissionsänderungen sind mit dem Screening-Modell $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$ [7] auf Grundlage des aktuellen HBEFA 3.2 für die folgenden zehn Straßenabschnitte zu ermitteln:

- LÜB-Standort (Stadtring Süd)
- Bahnhofstraße
- Zeller Straße
- Theaterstraße
- Rennweg
- Grombühlstraße
- Schweinfurter Straße
- Röntgenring
- Textorstraße
- Sanderglaxisstraße

Die notwendigen Grundlagen, wie Verkehrszahlen und die Zulassungsstatistiken der Stadt Würzburg und die Bebauungsdaten wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

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 nach der 39. BImSchV [12] maßgebend. Die 39. BImSchV ist Teil der Umsetzung der von der Europäischen Union vorgegebenen Luftqualitätsrichtlinien [15] 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 sowie Feinstaubpartikel (PM_{10} und $\text{PM}_{2,5}$) 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 [12] für die Leitsubstanzen.

Schadstoffkomponente Bezugszeitraum	Konzentration [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Zulässige Überschreitungen im Kalenderjahr
Stickstoffdioxid NO_2		
Jahresmittel	40	-
Stundenmittel	200	18
Feinstaub PM_{10}		
Jahresmittel	40	-
Tagesmittel	50	35
Feinstaub $\text{PM}_{2,5}$		
Jahresmittel	25	-

3 Örtliche Gegebenheiten

3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes

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 [9] geprüfte, jedoch nicht aufgenommene Maßnahme. Im Fall der hier zu betrachtenden Umweltzone Stufe 3 sollen nur Autos mit grüner Plakette (gemäß 35. BImSchV [4]) in die Umweltzone einfahren dürfen.

Die Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen die Lage der 10 hinsichtlich der Auswirkungen bei Einführung der Stufe 3 einer Umweltzone untersuchten Straßenabschnitte.

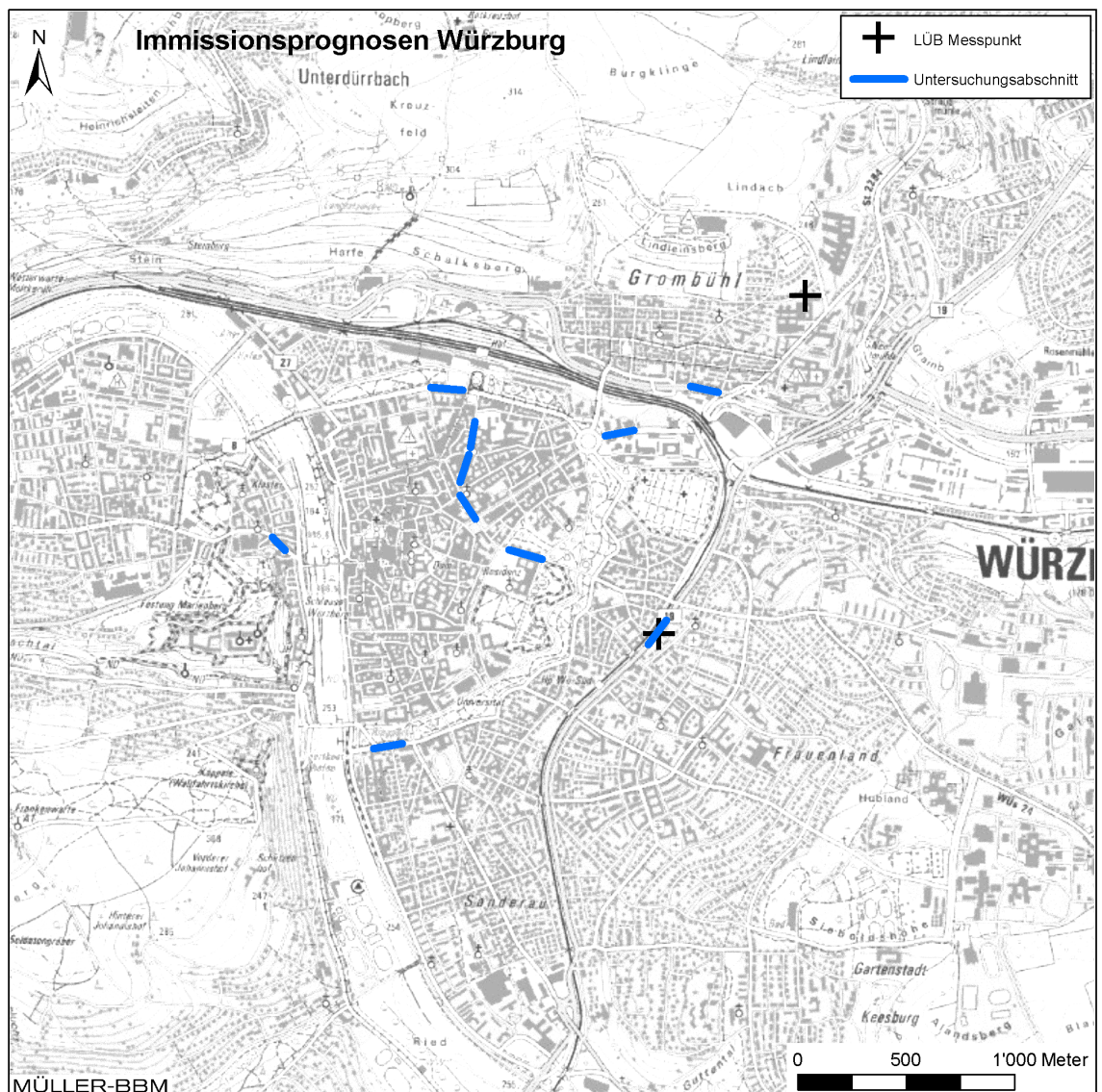


Abbildung 1. Lage der untersuchten Straßenabschnitte und der LÜB-Messorte in Würzburg auf topografischer Karte [18].



Abbildung 2. Lage der untersuchten Straßenabschnitte im Stadtgebiet Würzburg.

3.2 Untersuchungsabschnitt Stadtring Süd (LÜB-Messstation)

An der B 19 (Stadtring Süd) im innerstädtischen Bereich von Würzburg liegt der Messstandort „Würzburg Stadtring Süd“ des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB). Abbildung 3 zeigt den Lageplan mit Untersuchungsabschnitt und Messort sowie ein Luftbild des Untersuchungsabschnitts.

Die Messstation Stadtring Süd (Abbildung 4) wird vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) seit November 2005 betrieben und ist eine verkehrsnaher Messstation für den Innenstadtverkehr [8].

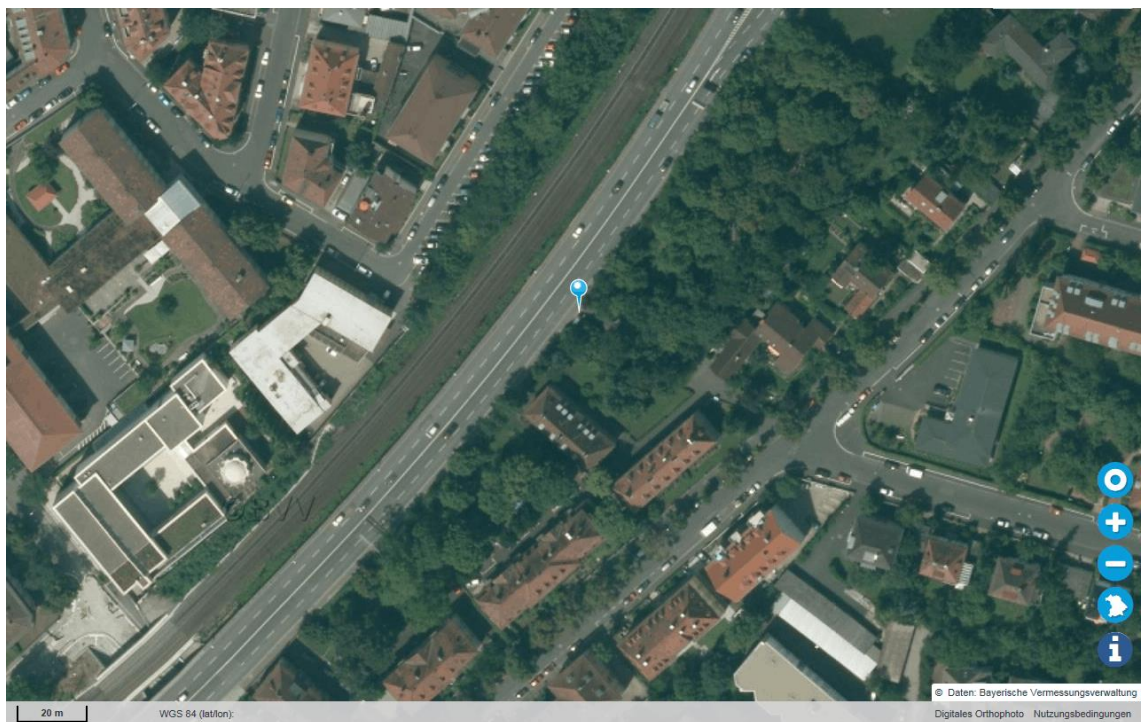
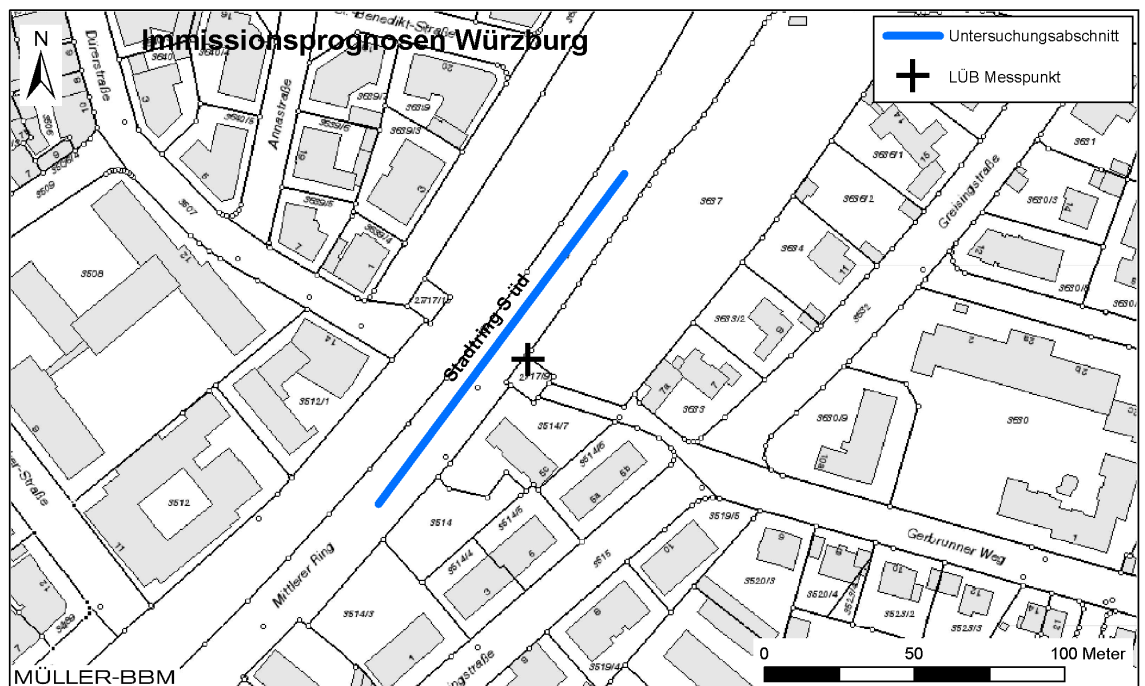


Abbildung 3. Stadtring Süd Würzburg, Lageplan mit Messort (oben) und Luftbild (unten) [19].



Abbildung 4. Blick auf den LÜB-Messcontainer Stadtring Süd in Würzburg, Richtung Südwesten (oben) und Richtung Nordosten (Mitte und unten) [13].

3.3 Untersuchungsabschnitt Bahnhofstraße

Der Untersuchungsabschnitt Bahnhofstraße und dessen Umfeld ist in Abbildung 5 und Abbildung 6 zu sehen.

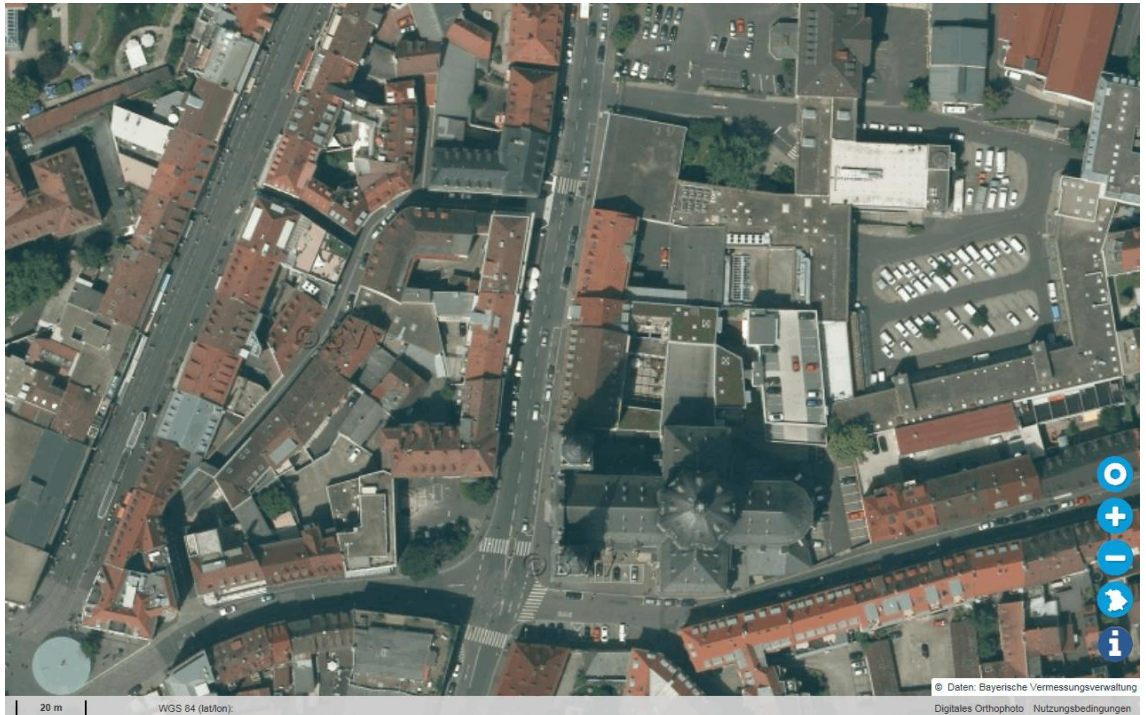
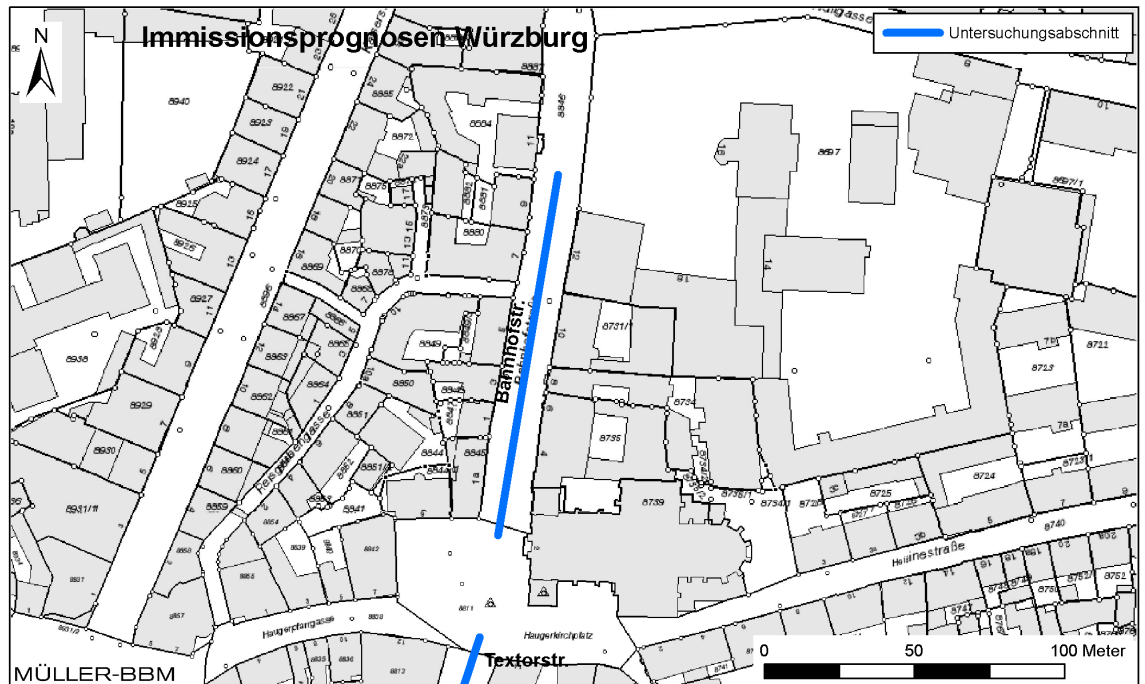


Abbildung 5. Untersuchungsabschnitt Bahnhofstraße in Würzburg, Lageplan (oben) [20] und Luftbild (unten) [19].



Abbildung 6. Blick auf den Untersuchungsabschnitt Bahnhofstraße in Würzburg [13].

3.4 Untersuchungsabschnitt Textorstraße

Südlich der Bahnhofstraße folgt der Untersuchungsabschnitt Textorstraße, dessen Umfeld zeigen Abbildung 7 und Abbildung 8.

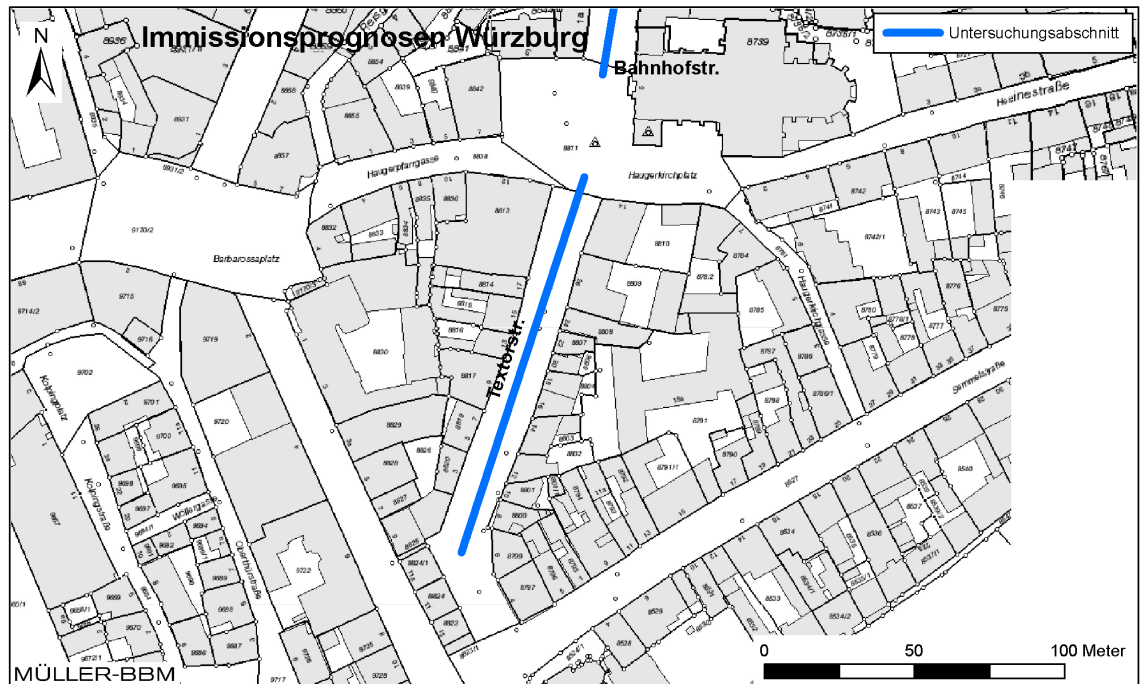


Abbildung 7. Untersuchungsabschnitt Textorstraße in Würzburg, Lageplan (oben) [20] und Luftbild (unten) [19].



Abbildung 8. Blick auf den Untersuchungsabschnitt Textorstraße in Würzburg [13].

3.5 Untersuchungsabschnitt Theaterstraße

Lageplan und Umfeld des Untersuchungsabschnittes Theaterstraße zeigen Abbildung 9 und Abbildung 10.

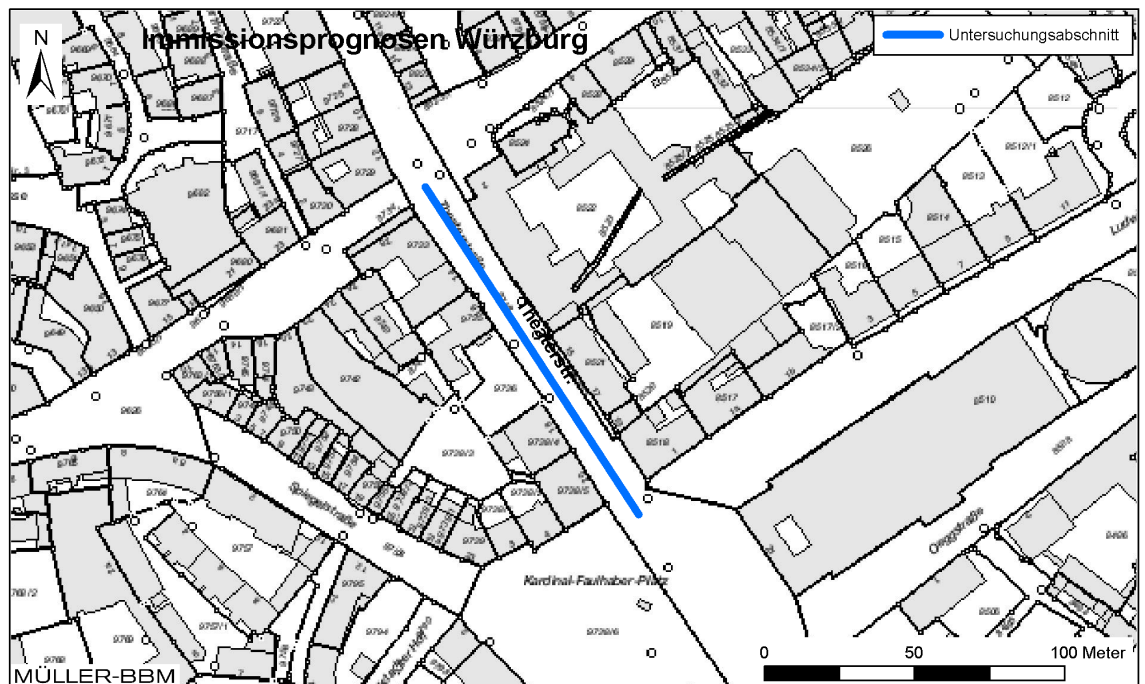


Abbildung 9. Untersuchungsabschnitt Theaterstraße in Würzburg, Lageplan (oben) [20] und Luftbild (unten) [19].



Abbildung 10. Blick auf den Untersuchungsabschnitt Theaterstraße in Würzburg [13].

3.6 Untersuchungsabschnitt Rennweg

Lageplan und Umfeld des Untersuchungsabschnittes Rennweg zeigen Abbildung 11 und Abbildung 12.

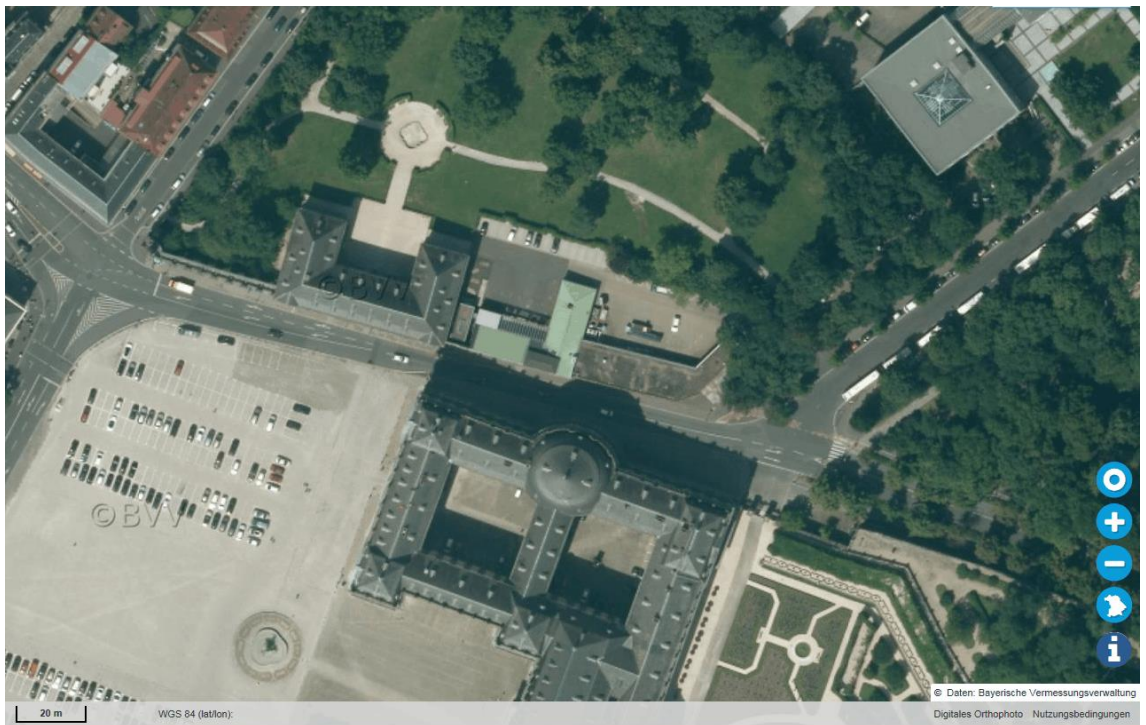
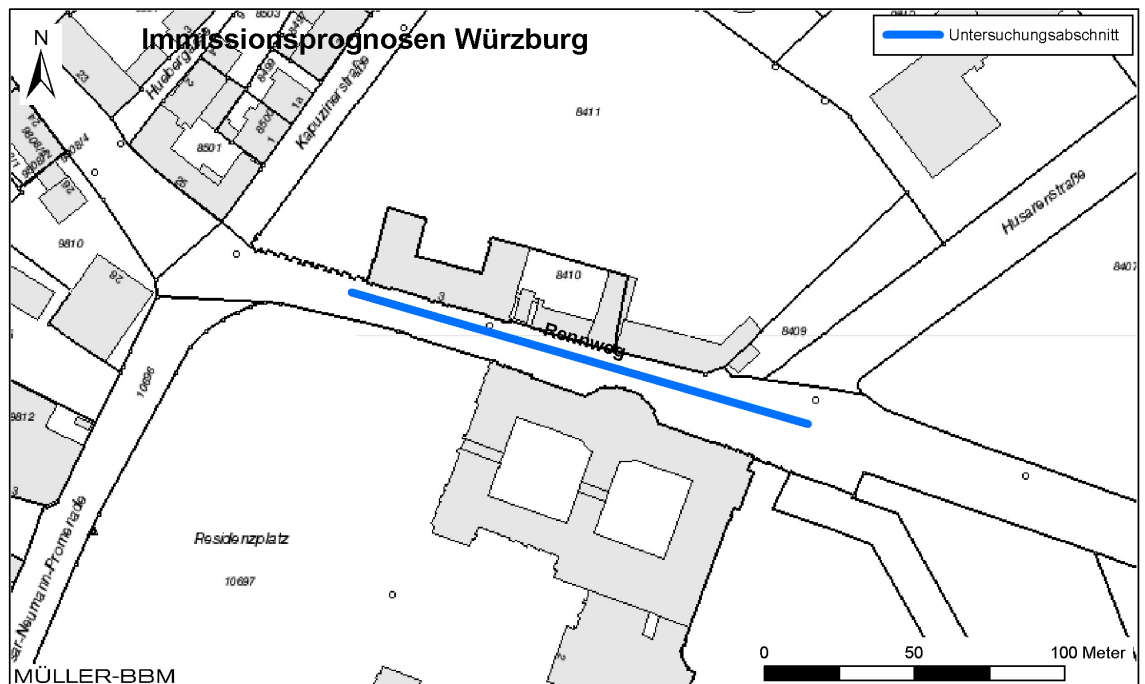


Abbildung 11. Untersuchungsabschnitt Rennweg in Würzburg, Lageplan (oben) [20] und Luftbild (unten) [19].



Abbildung 12. Blick auf den Untersuchungsabschnitt Rennweg in Würzburg [13].

3.7 Untersuchungsabschnitt Schweinfurter Straße

Lageplan und Umfeld des Untersuchungsabschnittes Schweinfurter Straße zeigen Abbildung 13 und Abbildung 14.

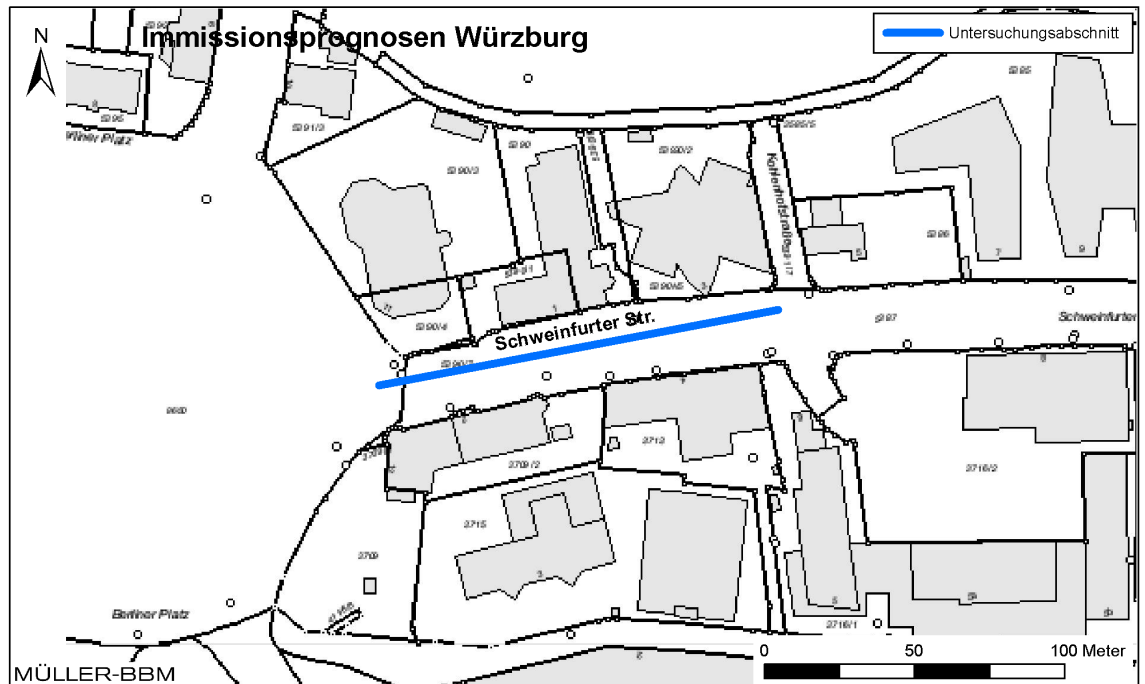


Abbildung 13. Untersuchungsabschnitt Schweinfurter Straße in Würzburg, Lageplan (oben) [20] und Luftbild (unten) [19].



Abbildung 14. Blick auf den Untersuchungsabschnitt Schweinfurter Straße in Würzburg [13].

3.8 Untersuchungsabschnitt Grombühlstraße

Den Lageplan und das Umfeld des Untersuchungsabschnittes Grombühlstraße zeigen Abbildung 15 und Abbildung 16.

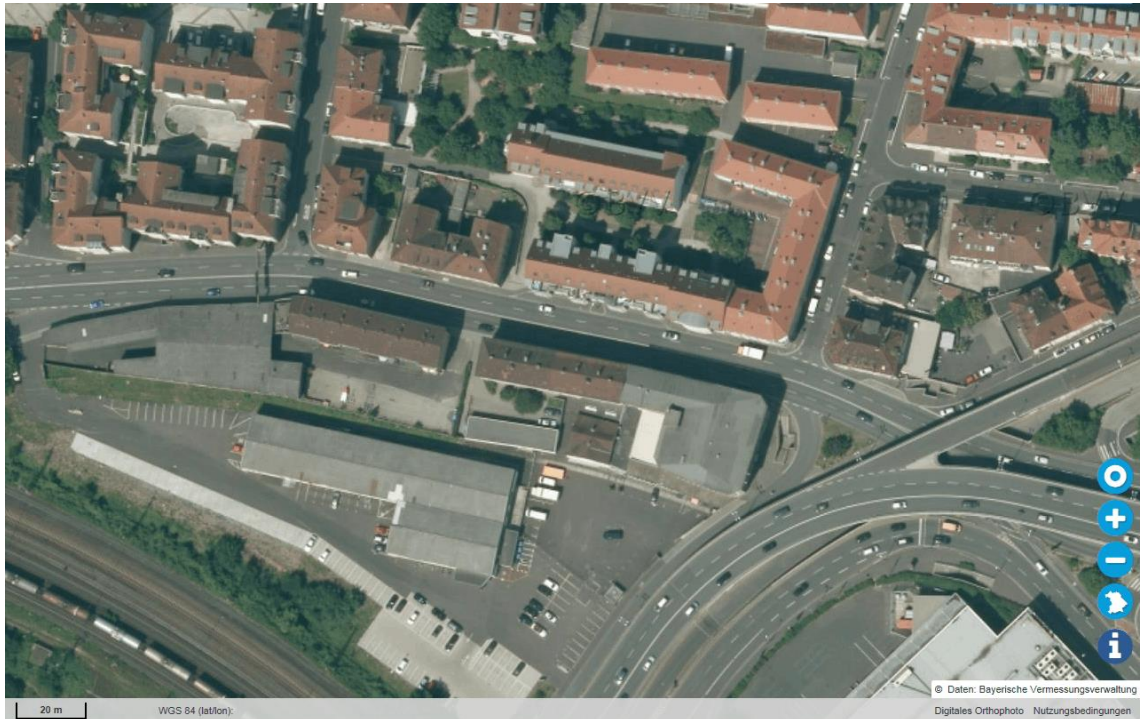
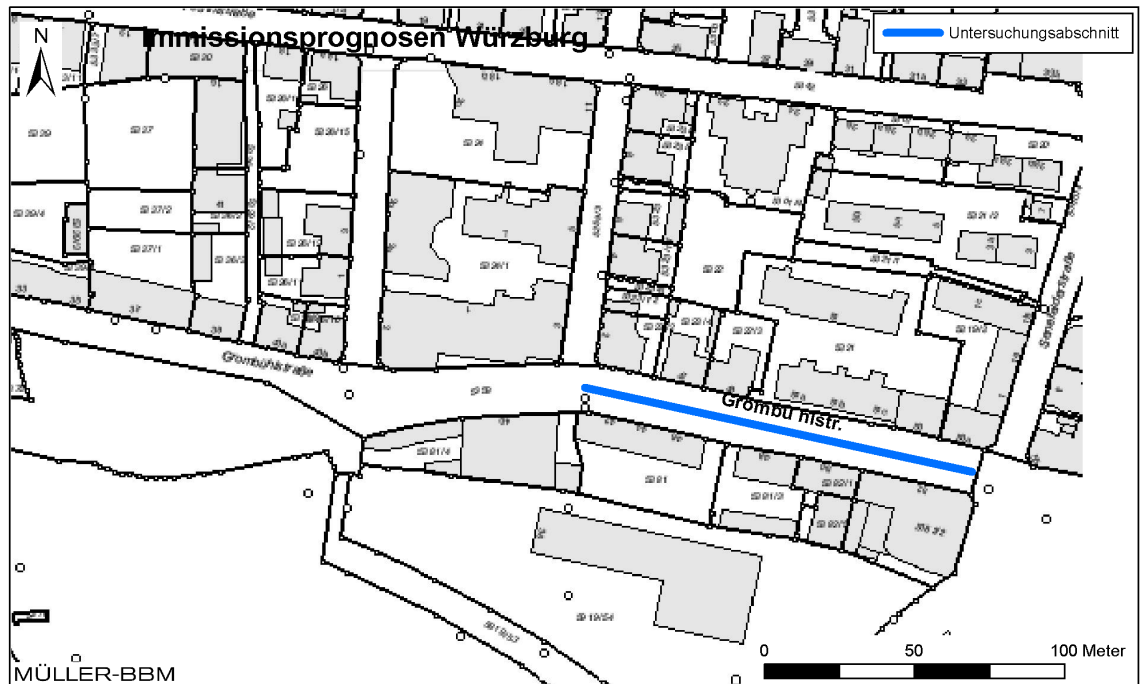


Abbildung 15. Untersuchungsabschnitt Grombühlstraße in Würzburg, Lageplan (oben) [20] und Luftbild (unten) [19].



Abbildung 16. Blick auf den Untersuchungsabschnitt Grombühlstraße in Würzburg [13].

3.9 Untersuchungsabschnitt Röntgenring

Lageplan und Umfeld des Untersuchungsabschnittes Röntgenring zeigen Abbildung 17 und Abbildung 18.

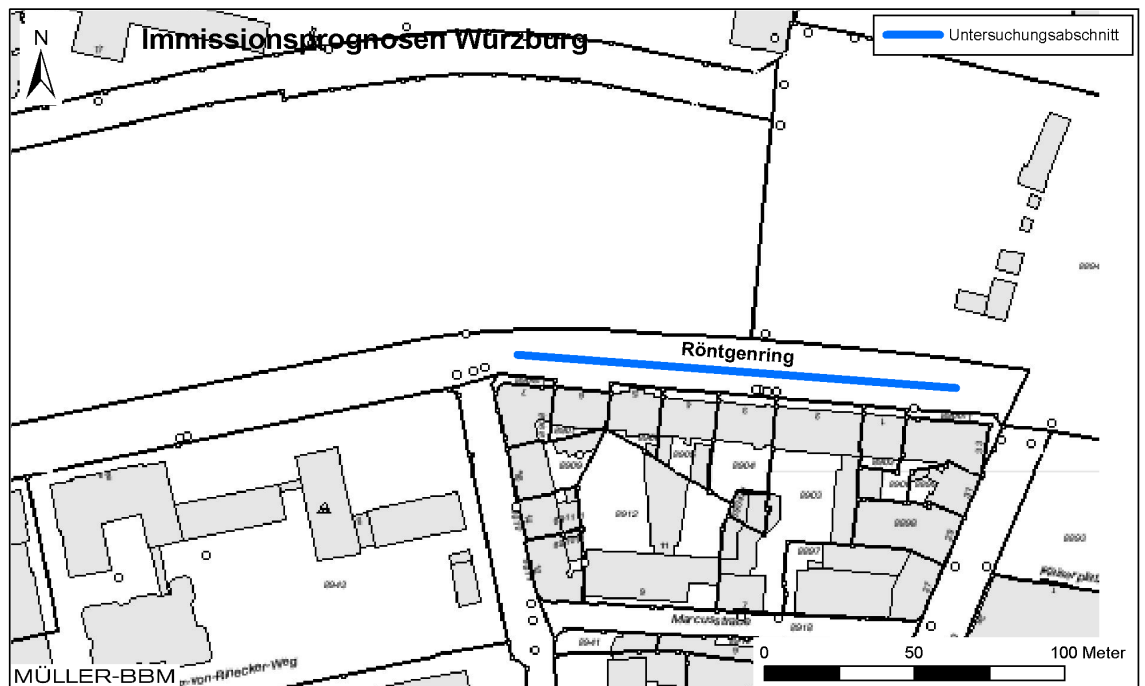


Abbildung 17. Untersuchungsabschnitt Röntgenring in Würzburg, Lageplan (oben) [20] und Luftbild (unten) [19].



Abbildung 18. Blick auf den Untersuchungsabschnitt Röntgenring in Würzburg [13].

3.10 Untersuchungsabschnitt Zeller Straße

Abbildung 19 und Abbildung 20 zeigen Lageplan und Umfeld des Untersuchungsabschnittes Zeller Straße.

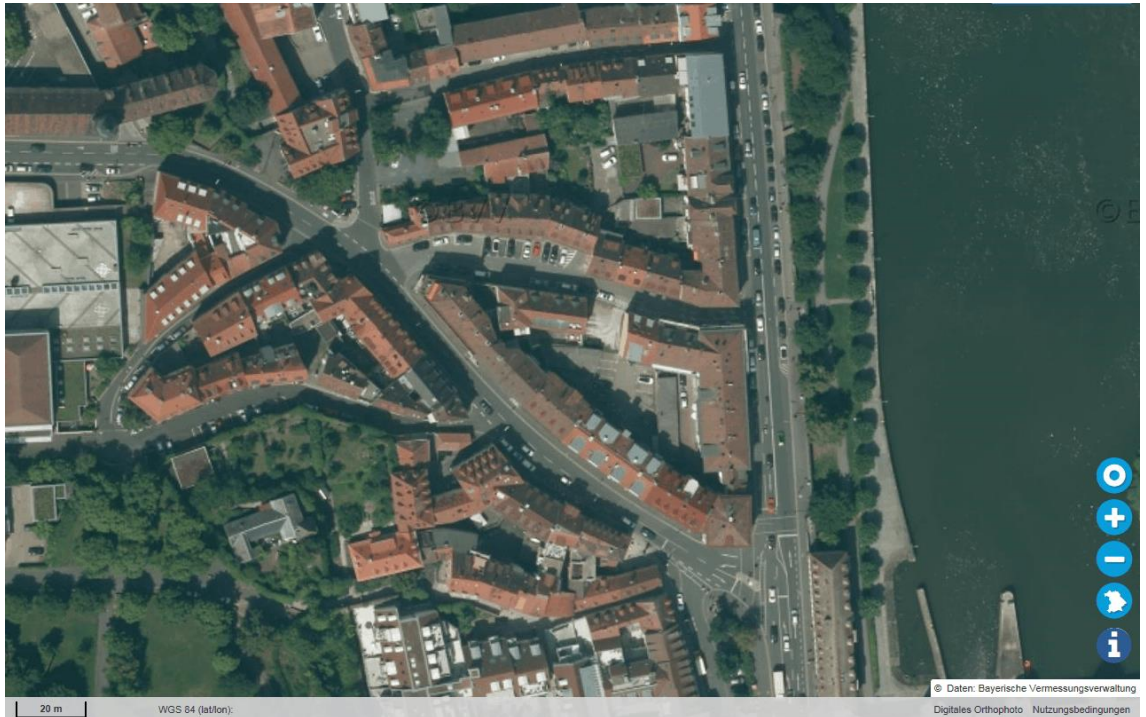
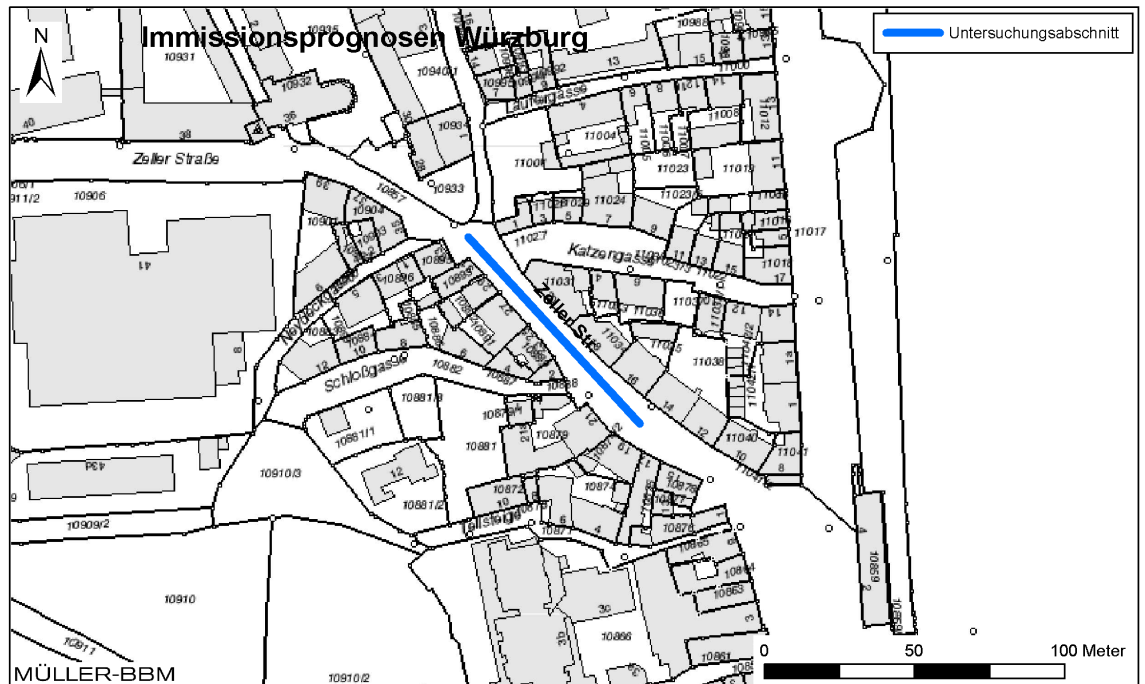


Abbildung 19. Untersuchungsabschnitt Zeller Straße in Würzburg, Lageplan (oben) [20] und Luftbild (unten) [19].



Abbildung 20. Blick auf den Untersuchungsabschnitt Zeller Straße in Würzburg [13].

3.11 Untersuchungsabschnitt Sanderglasisstraße

Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen Lageplan und Umfeld des Untersuchungsabschnittes Sanderglasisstraße.

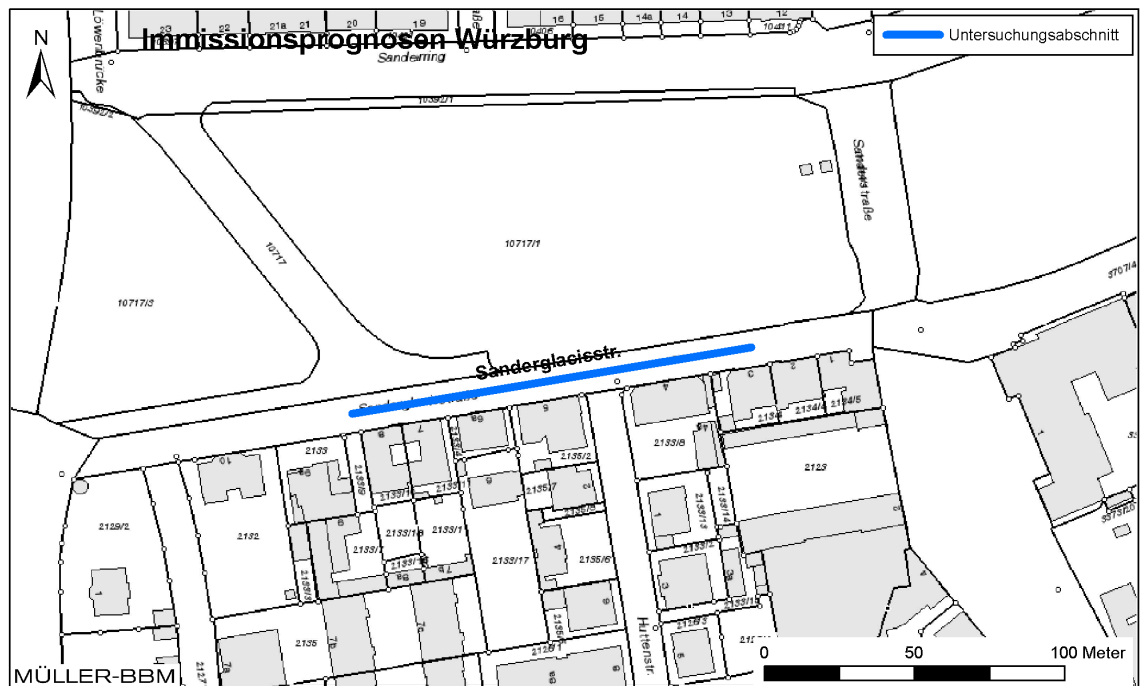


Abbildung 21. Untersuchungsabschnitt Sanderglasisstraße in Würzburg, Lageplan (oben) [20] und Luftbild (unten) [19].



Abbildung 22. Blick auf den Untersuchungsabschnitt Sanderglasisstraße in Würzburg [13].

4 Technische Grundlagen

4.1 Rechenverfahren

Die Berechnung der Luftschadstoffkonzentrationen in den betrachteten Straßenabschnitten erfolgt mittels des Rechenprogramms IMMIS-Em/Luft Version 6.1 [7].

IMMIS-Em/Luft oder IMMIS^{em/luft1} 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 Bebauungen². Dem Rechenverfahren sind eine 10-Jahres-Klimatologie des DWD, sowie ein Satz von Tages-, Wochen- und Jahresgängen hinterlegt. [6].

IMMIS^{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 des Kfz-Verkehrs auf der Straße werden unter Berücksichtigung der Verkehrsmengen und Emissionsfaktoren für unterschiedliche Verkehrssituationen nach HBEFA [5] vom internen Emissionsmodul berechnet. Im vorliegenden Fall wurden die Emissionsfaktoren mit einer für Würzburg abgeleiteten Fahrzeugflotte (siehe 4.3) 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.

Neben den Schadstoffen im Abgas wurden für die Feinstaubemissionen (PM₁₀) des Straßenverkehrs zusätzlich auch nicht-motorbedingte Partikelemissionen durch Abrieb und Aufwirbelung von Feinstaub nach einer Veröffentlichung des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) [3] berücksichtigt. Dazu wurden in IMMIS^{em/luft} die entsprechenden programminternen Parameter gesetzt.

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 und konnten damit auch nicht berücksichtigt werden.

Die in IMMIS^{em/luft} angesetzten Parameter sind in Tabelle 2 aufgeführt.

¹ Programmbezeichnung laut Handbuch

² „Vereinfachte 2-D-Modellierung“ gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 14 [17]

Tabelle 2. Parameter zur Emissions- und Immissionsberechnung mit IMMIS^{em/luft 3}.

Straßenabschnitt	Verkehrssituation	Längsneigung	LOS1 (frei)	Verkehrsqualität			LOS4 (Stop&Go)	Bebauung		
				LOS2 (dicht)	LOS3 (gesättigt)	in %		Porosität	Breite	Höhe
									in m	
Rennweg	Ahvs50	2%	0	78	19	3	50	15	18	
Grombühlstr.	Ahvs50	0%	0	100	0	0	20	18	16	
Stadtring Süd	Ahvs50	2%	0	100	0	0	75	18	6	
Schweinfurter Str.	Ahvs50	0%	0	77	20	3	35	26	25	
Theaterstr.	Aersch150	0%	0	87	11	2	0	15	17	
Textorstr.	Aersch150	0%	0	95	5	0	0	15	15	
Bahnhofstr.	Aersch150	0%	0	88	12	0	0	16	18	
Sanderglasisstr.	Aersch150	0%	0	70	15	15	50	15	17	
Zeller Str.	Aersch130	4%	0	100	0	0	20	10	15	
Röntgenring	Ahvs50	0%	0	70	22	8	50	22	22	

4.2 Verkehrsmengen

Die Verkehrsmengen für die vorliegenden Berechnungen wurden vom LfU zur Verfügung gestellt [20]. Für die zu untersuchenden Straßen in Würzburg liegen Daten aus Verkehrszählungen der Stadt Würzburg aus dem Jahr 2015 vor. Die durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken DTV in Kfz/24h und die Anteile des Schwerverkehrs mit einem zulässigen Gesamtgewicht (zGG) > 3,5 t (SNfz), der leichten Nutzfahrzeuge zGG ≤ 3,5 t (LNfz) und der Busse (BUS) sind in der Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3. Verkehrsmengen auf den Untersuchungsabschnitten [20].

Straßenabschnitt	DTV	SNfz-Anteil	LNfz-Anteil	BUS-Anteil
	[Kfz/24h]	% / 24h	% / 24h	% / 24h
Rennweg	9.690	6,4	6,0	0,0
Grombühlstr.	41.030	4,9	6,0	0,1
Stadtring Süd	40.820	4,1	6,0	0,3
Schweinfurter Str.	30.530	0,9	6,0	2,1
Theaterstr.	9.380	1,8	6,0	7,5
Textorstr.	9.150	1,2	6,0	4,3
Bahnhofstr.	8.090	1,2	6,0	6,3
Sanderglasisstr.	15.550	1,0	6,0	1,2
Zeller Str.	7.110	3,4	6,0	0,0
Röntgenring	25.340	1,1	6,0	0,9

³ Für die Grombühlstraße wird entgegen des dort signalisierten Tempolimits aufgrund der Erkenntnisse vorort ein Tempolimit von 50 km/h angesetzt.

4.3 Flottenzusammensetzung

Für die Zulassungsbezirke Würzburg, Würzburg-Stadt, Kitzingen, Main-Tauber und Main-Spessart wurden vom LfU die Zulassungszahlen differenziert nach Schadstoffklassen zur Verfügung gestellt [20]. Die Zulassungszahlen (Kfz-Meldebestand am 01.01.2015) liegen getrennt für Personenkraftwagen (PKW), für leichte Nutzfahrzeuge $\leq 3,5$ 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 sind in der Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4. Kfz-Zulassungsstatistik (Stand 1.1.2015) nach Schadstoffklassen für die Region Würzburg [20].

Schadstoffnorm	PKW				LNfz		SNfz		BUS	
	Benzin		Diesel		$\leq 3,5$ t zGG		$> 3,5$ t zGG			
	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 Dieselmotore. Der Ansatz basiert auf den im HBEFA 3.2 [5] 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 [5].

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 2015 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%

4.4 Vorbelastung

Die Vorbelastung setzt sich zusammen aus der regionalen und der städtischen Hintergrundbelastung. Die regionale Hintergrundbelastung wurde vom Auftraggeber aus den Messwerten der LÜB-Messstation Andechs der Jahre 2013 bis 2015 [20] abgeleitet. Demnach sind im Jahresmittel für Würzburg folgende regionalen Hintergrundbelastungen anzusetzen:

- PM_{2,5} 9 µg/m³
- PM₁₀ 11 µg/m³
- NO₂ 7 µg/m³
- NO_x 10 µg/m³
- O₃ 59 µg/m³

Das Landesamt für Umwelt (LfU) leitet zudem aus den Messdaten der Jahre 2013 bis 2015 der LÜB-Messstationen Würzburg Kopfklinik und Schweinfurt eine Vorbelastung (Summe aus regionaler und städtischer Hintergrundbelastung) für die Innenstadt Würzburg ab [20]:

- 12 µg/m³ für PM_{2,5}
- 17 µg/m³ für PM₁₀
- 25 µg/m³ für NO₂
- 42 µg/m³ für NO_x
- 40 µg/m³ für O₃ jeweils als Jahresmittelwert.

In der Verursacheranalyse [11] wurde für den Messstandort Stadtring Süd die städtische Hintergrundbelastung durch Ausbreitungsrechnungen unter Berücksichtigung der Emittentengruppen Kfz-Verkehr (Hintergrundanteil)⁴, Industrie, Gewerbe, Hausbrand und Sonstiger Verkehr⁵ ermittelt. Die Berechnungen zur

⁴ Verkehr auf dem Straßennetz in Würzburg ohne lokalen Verkehr

⁵ Bahn-, Schiffs- und Flugverkehr

Verursacheranalyse für das Bezugsjahr 2015 berücksichtigen keine Umweltzone. Ergebnis der Untersuchung war eine Vorbelastung (Summe aus der regionalen und der städtischen Hintergrundbelastung) von

- 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM_{10} und
- 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für NO_2 jeweils als Jahresmittelwert.

Bei den hier beschriebenen Immissionsprognosen wurden für den Stadtring Süd die in der Verursacheranalyse für PM_{10} und NO_2 ermittelte Vorbelastung und ansonsten die aus den Messungen abgeleiteten Werte als Vorbelastung angesetzt.

4.5 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 [10]. Das Jahr 2012 wurde vom Deutschen Wetterdienst hinsichtlich der Ausbreitungsbedingungen (Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Ausbreitungsclassen) zum repräsentativen Jahr für den Standort bestimmt [2]. Am Standort beträgt die mittlere Windgeschwindigkeit 3,3 m/s in der Messhöhe von 10 m über Grund.

Für die Immissionsberechnungen mit $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$ 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 Ergebnisse

5.1 Methodik

Die im Jahr 2015 ohne und mit Umweltzone Stufe 3 in Würzburg zu erwartenden Emissionen und Immissionen wurden rechnerisch anhand des Screeningverfahrens IMMIS^{em/luft} [7] ermittelt. Die Emissionen des Kfz-Verkehrs auf den betrachteten Straßenabschnitten wurden anhand der Verkehrszählraten (4.2) und der für das Jahr 2015 für Würzburg ermittelten Fahrzeugflottenzusammensetzung (4.3) berechnet.

Im Fall der hier zu betrachtenden Umweltzone Stufe 3 sollen nur Autos mit grüner Plakette (gemäß 35. BImSchV [4]) in die Umweltzone einfahren dürfen, das sind folgende Kraftfahrzeuge:

- Benzin-Pkw ab Euro 1
- Diesel-Pkw, leichte und schwere Diesel-Nutzfahrzeuge und Busse ab Euro 4.

Für die Immissionsprognose Umweltzone Stufe 3 wurde die Fahrleistung der nicht einfahrtberechtigten Fahrzeuge in der Fahrzeugflotte auf Null gesetzt. Die Verkehrsmengen auf den betrachteten Straßenabschnitten wurden unverändert belassen. Da die Begrenzung der geplanten Umweltzone derzeit nicht bekannt ist, wurde der Effekt Umweltzone für alle Untersuchungsabschnitte angesetzt.

Die am Straßenrand der Untersuchungsabschnitte auftretenden Immissionen der Luftschadstoffe Stickstoffdioxid (NO₂) sowie Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) wurden berechnet. Die Verkehrsmengen, die Straßengeometrie und die Bebauungsdaten wurden anhand der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen ermittelt [20].

Die Vorbelastung (Summe aus regionaler und städtischer Hintergrundbelastung) wurde nach den Ergebnissen der Verursacheneranalyse und den Angaben des LfU angesetzt (4.4). Der NO₂-Beitrag des lokalen Verkehrs wurde mit dem in IMMIS^{em/luft} [7] integrierten Photochemieansatz (u. a. unter Berücksichtigung der Ozonkonzentration) ermittelt. Die Anzahl der Tage mit Überschreitung des PM₁₀-Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ wurde basierend auf dem PM₁₀-Jahresmittelwert nach [1] berechnet.

Auf der Grundlage der IMMIS^{em/luft}-Berechnungen für das Jahr 2015 ohne und mit Umweltzone Stufe 3 wurden sowohl die Emissionsminderungen (NO₂, PM_{2,5} und PM₁₀ sowie zusätzlich NO_x) als auch die Immissionsminderungen für NO₂, PM_{2,5} und PM₁₀ quantifiziert.

5.2 Emissionen Straßenverkehr 2015

Das Handbuch „Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA“ wird in unregelmäßigen Zeitabständen aktualisiert und stellt sowohl fahrzeugspezifische Emissionsfaktoren als auch Informationen zur mittleren Flottenzusammensetzung für unterschiedliche Bezugsjahre bereit.

Durch gesetzliche Regelungen haben sich die Grenzwerte für Kfz-Emissionen (Euro-Abgasnormen) regelmäßig verschärft. Die Einhaltung der Euro-Abgasnormen wird durch einen Typprüfzyklus auf dem Rollenprüfstand nachgewiesen.

Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) und das LfU haben im Rahmen eines gemeinsamen Projekts umfangreiche Abgasmessungen an Euro 6 Diesel-Pkw beim TÜV Nord und beim ADAC durchführen lassen [14]. Getestet wurden drei Euro 6 Mittelklasse-Fahrzeuge: Ein Volkswagen CC mit SCR-Katalysator, ein BMW 320d mit NO_x-Speicherkatalysator sowie ein Mazda 6 mit rein innermotorischen Maßnahmen zur NO_x-Minimierung. Die unterschiedlichen Abgasnachbehandlungskonzepte der Fahrzeuge repräsentieren die derzeit zur Einhaltung der Euro 6 Abgasnorm verfügbaren Techniken. Die im Realbetrieb innerorts und außerorts gemessenen NO_x-Emissionen der untersuchten Euro 6 Fahrzeuge zeigten eine erhebliche Schwankungsbreite, abhängig von Fahr-situation und Nachbehandlungstechnik. Die Bandbreiten der bei den Einzelfahrten festgestellten NO_x-Emissionen liegen innerorts zwischen 130 und 676 mg/km, außerorts zwischen 134 und 618 mg/km NO_x. Damit liegen die NO_x-Emissionen im Innerortsbereich um den Faktor 1,6 bis 8,5, im Außerortsbereich um den Faktor 1,7 bis 7,7 über dem Grenzwert der Euro 6 Abgasnorm von 80 mg/km.

Im realen Fahrbetrieb können somit deutlich höhere Emissionen im Vergleich zu den Grenzwerten der Euro-Abgasnormen, die am Prüfstand eingehalten werden müssen, auftreten. Aus diesem Grund werden für Immissionsprognosen stets die Emissionsfaktoren in der jeweils aktuellen Version des HBEFA (derzeit Version 3.2) verwendet, die das reale Fahrverhalten besser widerspiegeln.

Bei den früheren Untersuchungen zur Wirkung der Umweltzone wurden die Emissionsfaktoren der jeweils gültigen Fassung des HBEFA entnommen. Diese Versionen waren mit größeren Unsicherheiten behaftet, da die Erkenntnisse zu den Realemissionen zum damaligen Zeitpunkt nicht vorlagen. Deshalb unterscheiden sich die verwendeten Emissionsfaktoren für die aktuellen Berechnungen (HBEFA in der Version 3.2, Stand: Juli 2014) insbesondere für Diesel-Pkw der Euro-Abgasnormen 5 und 6 von denen früherer Analysen. Die aktuellen Ergebnisse sind somit nicht mit denen früherer Wirkungsanalysen vergleichbar.

Die Berechnung der verkehrsbedingten Emissionen (Menge der von den Fahrzeugen erzeugten Schadstoffe) erfolgte mit dem Verfahren IMMIS^{em/luft} [7] auf der Grundlage des aktuellen Handbuchs „Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA 3.2“ [5] und der in Abschnitt 4.3 beschriebenen Fahrzeugflotte. Die ermittelten Emissionen sind in Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 6. Ermittelte Emissionen auf den Untersuchungsabschnitten.

Straßenabschnitt	Emissionen 2015 ohne und mit Umweltzone Stufe 3							
	NO _x		NO ₂		PM ₁₀		PM _{2,5}	
	ohne	mit Uz	ohne	mit Uz	ohne	mit Uz	ohne	mit Uz
in g/(m*d)								
Rennweg	6,45	5,75	1,33	1,22	0,70	0,62	0,33	0,24
Grombühlstr.	24,95	22,98	5,15	4,77	2,56	2,24	1,29	0,97
Stadtring Süd	23,29	20,73	5,20	4,75	2,46	2,14	1,27	0,94
Schweinfurter Str.	18,30	16,56	4,50	4,10	1,76	1,53	0,90	0,67
Theaterstr.	9,82	8,91	2,21	2,01	0,98	0,89	0,34	0,25
Textorstr.	7,18	6,47	1,70	1,54	0,71	0,63	0,30	0,22
Bahnhofstr.	7,49	6,78	1,73	1,57	0,75	0,68	0,28	0,21
Sanderglasisstr.	9,73	8,77	2,47	2,25	1,05	0,91	0,48	0,35
Zeller Str.	4,59	4,04	1,09	1,01	0,48	0,41	0,24	0,17
Röntgenring	13,80	12,50	3,47	3,16	1,41	1,21	0,74	0,54

In der Tabelle 7 sind die daraus ermittelten Emissionsminderungen bei Einführung einer Umweltzone Stufe 3 im Vergleich zur Bestandssituation im Jahr 2015 angegeben. Nach den Berechnungen würde die Einführung einer Umweltzone Stufe 3 auf den untersuchten Straßenabschnitten die NO_x-Emissionen zwischen 8 % und 12 %, die NO₂-Emissionen um 7 % bis 9 %, die PM₁₀-Emissionen um 8 % bis 15 % und die PM_{2,5}-Emissionen um 24 % bis 29 % reduzieren.

Tabelle 7. Emissionsminderungen bei Umweltzone Stufe 3 im Vergleich zur Bestandssituation im Jahr 2015.

Straßenabschnitt	Emissionsminderung bei Umweltzone Stufe 3							
	NO _x		NO ₂		PM ₁₀		PM _{2,5}	
	g/(m*d)		g/(m*d)		g/(m*d)		g/(m*d)	
Rennweg	-0,70	-11%	-0,10	-8%	-0,08	-12%	-0,08	-26%
Grombühlstr.	-1,98	-8%	-0,38	-7%	-0,33	-13%	-0,33	-25%
Stadtring Süd	-2,57	-11%	-0,45	-9%	-0,32	-13%	-0,32	-25%
Schweinfurter Str.	-1,74	-10%	-0,41	-9%	-0,23	-13%	-0,23	-25%
Theaterstr.	-0,91	-9%	-0,20	-9%	-0,08	-8%	-0,08	-24%
Textorstr.	-0,71	-10%	-0,16	-9%	-0,08	-11%	-0,08	-26%
Bahnhofstr.	-0,71	-9%	-0,16	-9%	-0,07	-9%	-0,07	-25%
Sanderglasisstr.	-0,96	-10%	-0,22	-9%	-0,14	-13%	-0,14	-28%
Zeller Str.	-0,55	-12%	-0,09	-8%	-0,07	-15%	-0,07	-29%
Röntgenring	-1,31	-9%	-0,30	-9%	-0,20	-14%	-0,20	-27%

5.3 Immissionsprognosen 2015

In Tabelle 8 sind die für das Jahr 2015 (Bestandssituation) ermittelten Immissionen an den Fassaden der Gebäude entlang der betrachteten Straßenabschnitte wiedergegeben. Die Feinstaubimmissionen ($PM_{2,5}$ und PM_{10}) unterschreiten an allen Untersuchungsabschnitten die Grenzwerte der 39. BImSchV für Jahresmittelwerte (Abschnitt 2). Auch die nach 39. BImSchV zulässigen 35 Überschreitungstage für den Tagesgrenzwert von PM_{10} werden an den Untersuchungsabschnitten eingehalten. Für den Untersuchungsabschnitt Grombühlstraße wurden 35 Tage mit PM_{10} -Tagesmittelwerten größer als $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet. Der NO_2 -Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel wird nach der Immissionsprognose 2015, abgesehen vom Rennweg, an allen betrachteten Untersuchungsabschnitten im Bestand überschritten. Am Rennweg wird nach den Berechnungen der NO_2 -Grenzwert eingehalten.

Tabelle 8. Immissionen im Jahr 2015.

Untersuchungspunkt	Jahresmittelwert			Anzahl
	NO_2	$PM_{2,5}$	PM_{10}	$PM_{10}\text{-TM}>50$
	in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	[-]
Immissionsprognose 2015				
Rennweg	35	13	20	7
Grombühlstr.	68	19	31	35
Stadtring Süd	42	14	20	7
Schweinfurter Str.	48	15	22	11
Theaterstr.	51	14	24	14
Textorstr.	43	14	22	10
Bahnhofstr.	43	14	22	10
Sanderglasisstr.	41	14	21	9
Zeller Str.	45	15	22	11
Röntgenring	41	14	21	9
Grenzwert	40	25	40	35

Bei Einführung einer Umweltzone Stufe 3 ergibt die Immissionsprognose (Tabelle 9) unter den o. g. Ansätzen geringere Immissionen. Der NO_2 -Grenzwert wird weiterhin an 7 der 10 Untersuchungsabschnitte überschritten. Neben dem Rennweg wird nach den Berechnungen bei Einführung der Umweltzone in der Sanderglasisstraße und am Röntgenring der NO_2 -Grenzwert eingehalten.

Tabelle 9. Immissionen Umweltzone Stufe 3 im Jahr 2015.

Untersuchungspunkt	Jahresmittelwert			Anzahl
	NO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM ₁₀ -TM>50
	in µg/m ³	in µg/m ³	in µg/m ³	[-]
Immissionen Umweltzone Stufe 3 Prognose 2015				
Rennweg	35	13	19	7
Grombühlstr.	65	17	29	28
Stadtring Süd	41	13	20	7
Schweinfurter Str.	46	14	22	10
Theaterstr.	49	14	23	13
Textorstr.	42	13	21	9
Bahnhofstr.	42	13	21	9
Sanderglasisstr.	39	13	21	8
Zeller Str.	43	14	21	9
Röntgenring	40	14	20	8
Grenzwert	40	25	40	35

Die anhand der Ergebnisse ermittelten Immissionsänderungen bei Einführung der Umweltzone Stufe 3 im Vergleich zur Bestandssituation im Jahr 2015 sind in der Tabelle 10 angegeben.

Die durch die Einführung der Stufe 3 der Umweltzone im Jahr 2015 zu erwartenden Immissionsminderungen (Tabelle 10) sind deutlich geringer als die o. a. Emissionsminderungen (Tabelle 7). Die Begründung dafür liegt darin, dass an den Untersuchungsabschnitten zumeist mehr als die Hälfte der Immissionen durch die städtische Vorbelastung (4.4) verursacht wird, die in der vorliegenden Untersuchung in beiden Szenarien gleich angesetzt wurde. Mögliche Änderungen der Flottenzusammensetzung außerhalb der Umweltzone durch den Ersatz alter durch emissionsärmere Fahrzeuge, die durch die Einführung der Stufe 3 der Umweltzone ausgelöst werden könnten, sind nicht quantifizierbar und wurden daher nicht berücksichtigt. Die Änderungen der Emissionen durch Einführung der Stufe 3 wirken sich daher in den Immissionsberechnungen nur auf die lokale Zusatzbelastung am Untersuchungsabschnitt aus.

Die in Tabelle 10 angegebenen Immissionsminderungen liegen bei den NO₂-Jahresmittelwerten zwischen 2,5 % und 4,1 % (0,9 µg/m³ bis 2,7 µg/m³), bei den PM_{2,5}-Jahresmittelwerten zwischen 2,3 % und 9 % (0,3 µg/m³ bis 1,7 µg/m³) und bei den PM₁₀-Immissionen im Jahresmittelwert zwischen 1,9 % und 5,9 % (0,4 µg/m³ bis 1,8 µg/m³).

Die Minderung der Immissionen durch die Einführung der Stufe 3 der Umweltzone reicht alleine nicht aus, um die Überschreitungen des NO₂-Grenzwertes an 7 von 10 Untersuchungsabschnitten zu gewährleisten.

Tabelle 10. Immissionsänderungen bei Umweltzone Stufe 3 im Vergleich zur Bestands-situation im Jahr 2015.

Immissionsänderung durch Umweltzone Stufe 3			
Untersuchungspunkt	Jahresmittelwert		
	NO₂	PM_{2,5}	PM₁₀
	in µg/m ³	in µg/m ³	in µg/m ³
Rennweg	-0,9	-0,3	-0,4
Grombühlstr.	-2,7	-1,7	-1,8
Stadtring Süd	-1,3	-0,4	-0,4
Schweinfurter Str.	-1,9	-0,7	-0,7
Theaterstr.	-2,1	-0,6	-0,6
Textorstr.	-1,6	-0,5	-0,5
Bahnhofstr.	-1,5	-0,4	-0,4
Sanderglasisstr.	-1,4	-0,5	-0,5
Zeller Str.	-1,8	-0,7	-0,8
Röntgenring	-1,3	-0,6	-0,5
	NO₂	PM_{2,5}	PM₁₀
	in % bezogen auf Bestand		
Rennweg	-2,5%	-2,3%	-2,0%
Grombühlstr.	-4,0%	-9,0%	-5,9%
Stadtring Süd	-3,1%	-3,0%	-2,0%
Schweinfurter Str.	-4,0%	-4,7%	-3,1%
Theaterstr.	-4,1%	-4,2%	-2,5%
Textorstr.	-3,7%	-3,6%	-2,3%
Bahnhofstr.	-3,5%	-2,9%	-1,9%
Sanderglasisstr.	-3,4%	-3,6%	-2,4%
Zeller Str.	-4,0%	-4,8%	-3,6%
Röntgenring	-3,2%	-4,3%	-2,4%

6 Grundlagen, verwendete Literatur

Bei der Erstellung des Gutachtens wurden die folgenden Unterlagen verwendet:

- [1] Düring, I., Bösing, R., Lohmeyer, A.: PM10-Emissionen an Außerortsstraßen; Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), BAST-Reihe "Verkehrstechnik" Band V 125, 96 S, 2005.
- [2] 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.
- [3] Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs, Schmidt, W., Düring, I., Lohmeyer, A., i. A. des Sächsischen Landesamts für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Dresden, Juni 2011, und Korrektur des Erratums Tabelle 3.21, pers. Mitteilung Schmidt, W., April 2012.
- [4] 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.
- [5] Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA, Version 3.2, 17. Juli 2014, INFRAS Bern/Zürich, www.hbefa.net.
- [6] Handbuch IMMISem/luft/lärm zur Version 6, IVU Umwelt GmbH, Juni 2015.
- [7] IMMIS Version 6.1, DLL-Version 6.1, IMMIS-Em/Luft, Copyright (c) IVU Umwelt GmbH 1994-2015, Freiburg.
- [8] Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB), Jahresberichte, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, <http://www.lfu.bayern.de/luft>.
- [9] Luftreinhalteplan für die Stadt Würzburg, 1. Fortschreibung, erarbeitet von der Regierung von Unterfranken, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Dezember 2010.
- [10] Meteorologische Daten (Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Ausbreitungs-kategorie), Zeitreihe AKTerm der Station Würzburg für das repräsentative Jahr 2012. Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Klima- und Umweltberatung, Offenbach.
- [11] 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.
- [12] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmenge - 39. BImSchV) vom 02.08.2010 (BGBl. I S. 1065).

- [13] Ortsbesichtigung am 10.05.2016 mit Fotodokumentation.
- [14] PEMS-Messungen an drei Euro 6-Diesel-Pkw auf Streckenführungen in Stuttgart und München sowie auf Außerortsstrecken, LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, in Zusammenarbeit mit Bayerisches Landesamt für Umwelt, März 2015, <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/23231/>
- [15] 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.
- [16] Richtlinie VDI 3782 Blatt 7: Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung – Luftbeimengungen. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, November 2003.
- [17] 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.
- [18] Topographische Karte Bayern, Maßstab 1:50.000, Geogrid®-Viewer V6, EADS Deutschland GmbH.
- [19] Topographische Karte und Luftbilder, BayernAtlas, Bayerische Vermessungsverwaltung, <http://geoportal.bayern.de/bayernatlas>.
- [20] 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.