

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
M124786/01 BSG/BSG

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

**Verursacheranalyse für NO_x, NO₂ und
PM₁₀ für den LÜB-Standort am
Stadtring Süd für das Bezugsjahr 2015**

Bericht Nr. M124786/01

Auftraggeber:	Bayerisches Landesamt für Umwelt 86177 Augsburg
Auftragsnummer:	23-0270-13274/2016
Bearbeitet von:	Dr. rer. nat. Rainer Bösing Dipl.-Ing. Till Nürrenbach
Berichtsumfang:	Insgesamt 45 Seiten, davon 4 Seiten Anhang A und 6 Seiten Anhang B

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 und Rechenverfahren	7
3.1 Beschreibung des Untersuchungsgebietes	7
3.2 Luftschadstoffmessungen in Würzburg	10
3.3 Umweltzone	11
3.4 Rechenverfahren zur Ermittlung der Verursacheranteile an der städtischen Hintergrundbelastung	11
3.5 Rechenverfahren zur Ermittlung der verkehrsbedingten lokalen Zusatzbelastung	12
4 Technische Grundlagen	13
4.1 Projektspezifische Unterlagen	13
4.2 Ausbreitungsmodellierung für die Verursacheranteile an der städtischen Hintergrundbelastung	13
4.3 Meteorologische Daten	15
4.4 Berücksichtigung von Gelände und Bebauung	17
4.5 Emissionen Industrie, Gewerbe, Hausbrand und Sonstiger Verkehr	19
4.6 Emissionen Straßenverkehr	20
5 Ergebnisse	26
5.1 Methodik	26
5.2 Emissionsbilanz	26
5.3 Regionale Hintergrundbelastung und Vorbelastung	28
5.4 Verursacheranteile im Jahr 2015	28
5.5 Prüfung der Datenqualitätsziele	33
6 Grundlagen, verwendete Literatur	34
A Quell- und Emissionsparameter genehmigungspflichtiger Anlagen aus den Emissionserklärungen 2012	36
B Emissionsdaten aus dem Emissionskataster 2004	40

Zusammenfassung

Der Luftreinhalteplan (LRP) für das Stadtgebiet Würzburg soll fortgeschrieben werden. In diesem Zusammenhang sind Berechnungen von NO_x , NO_2 und PM_{10} durchzuführen. Im vorliegenden Gutachten wird die Verursacheranalyse für die o. g. Schadstoffe für den LÜB-Standort am Stadtring Süd in Würzburg beschrieben. Es wurden folgende Beiträge zur Gesamtbelastung betrachtet:

- regionale Hintergrundbelastung
- städtische Hintergrundbelastung
- lokaler Straßenverkehr

Die regionale Hintergrundbelastung wurde basierend auf Messwerten repräsentativer ländlicher LÜB-Hintergrundmessstationen angesetzt. Die Verursacheranteile an der städtischen Hintergrundbelastung wurden für das Bezugsjahr 2015 jeweils getrennt nach folgenden Emittentengruppen mit dem TA Luft konformen Ausbreitungsmodell LASAT ermittelt:

- Industrie
- Gewerbe
- Hausbrand
- Kfz-Verkehr (Hintergrundanteil)
- „Sonstiger“ Verkehr

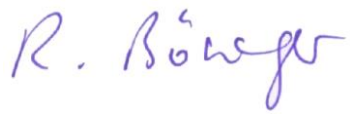
Die Emissionen der Verursacher wurden (abgesehen vom Verkehr) dem Emissionskataster entnommen bzw. aus Emissionserklärungen abgeleitet. Die Emissionen sowohl des lokalen Kfz-Verkehrs als auch des Hintergrundanteils des Kfz-Verkehrs wurden für die für Würzburg ermittelte Fahrzeugflotte mit dem Screening-Modell $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$ (in der aktuellen Version 6.1 mit HBEFA 3.2) berechnet. Die lokale Zusatzbelastung des Verkehrs wurde ebenfalls mit dem Screening-Modell $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$ berechnet.

Die ermittelten Immissionsbeiträge der Emittentengruppen Industrie, Gewerbe, Hausbrand und „Sonstiger Verkehr“ sowie Kfz-Verkehr (Hintergrundanteil) wurden aufsummiert, um die städtische Hintergrundbelastung zu erhalten. Durch weitere Addition der regionalen Hintergrundbelastung und des Beitrags des lokalen Straßenverkehrs wurde die Gesamtbelastung am Standort als Ergebnis der Immissionsprognose ermittelt.

Der Einfluss des Kfz-Verkehrs wird insbesondere bei den NO_2 -Immissionen deutlich. Aufgrund des lokalen Verkehrsaufkommens und des Kfz-Verkehrs (Hintergrundanteil) auf umliegenden Straßen sind fast 80 % der NO_2 -Gesamtbelastung an der LÜB-Messstation Stadtring Süd vom Verkehr verursacht. Der lokale NO_2 -Verkehrsbeitrag vom Stadtring Süd trägt mehr als ein Drittel zur NO_2 -Gesamtbelastung bei. Der Anteil der regionalen NO_2 -Hintergrundbelastung beträgt dagegen nur 17 %.

Der lokale PM_{10} -Verkehrsbeitrag an der Gesamtbelastung ist mit 15 % geringer. Insgesamt ist etwa ein Drittel der PM_{10} -Gesamtbelastung auf den Verkehr zurückzuführen. Die PM_{10} -Immission am Stadtring Süd stammt zu einem Anteil von 55% aus dem regionalen Hintergrund.

Um die angewandte Methodik zu validieren, wurden die Prognosen der NO₂- und PM₁₀-Jahresmittelwerte mit den Messwerten aus dem Bezugsjahr 2015 verglichen. Die Abweichungen der Immissionsprognosen vom Messwert liegen unter den zulässigen Unsicherheitsmargen der Datenqualitätsziele nach 39. BImSchV. Die Datenqualitätsziele nach 39. BImSchV werden erfüllt.



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 Berechnungen von NO_x , NO_2 und PM_{10} durchzuführen. Im vorliegenden Gutachten wird die Verursacheralyse für die o. g. Schadstoffe für den LÜB-Standort am Stadtring Süd in Würzburg beschrieben.

Die Verursacheranteile sind für das Bezugsjahr 2015 jeweils getrennt für die großräumige Hintergrundbelastung, Industrie, Gewerbe, Hausbrand, Kfz-Verkehr (aufgeteilt in Hintergrundanteil und lokalen Anteil) und sonstigem Verkehr zu ermitteln. Ergänzend sind für den lokalen Kfz-Verkehr die Feinstaubanteile nach Auspuffabgas, Aufwirbelung und Abrieb zu unterscheiden. Es sind die Emissionen von Stickoxiden (NO_x und NO_2) und Feinstaub (PM_{10}) zu ermitteln und damit die Immissionen von Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM_{10}) zu berechnen.

Zur Ermittlung der Emissionsbeiträge der Verursacher sollen die Daten der genehmigungspflichtigen Anlagen und des Emissionskatasters verwendet werden. Die Beiträge der einzelnen Verursacher an der städtischen Hintergrundbelastung sollen mit einem TA Luft konformen Ausbreitungsmodell berechnet werden. Die regionale Hintergrundbelastung ist aus Messwerten repräsentativer ländlicher LÜB-Hintergrundmessstationen zu ermitteln. Die lokale Zusatzbelastung des Verkehrs ist mit dem Screening-Modell $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$ (in der aktuellen Fassung mit HBEFA 3.2) zu berechnen.

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 [14] maßgebend. Die 39. BImSchV ist Teil der Umsetzung der von der Europäischen Union vorgegebenen Luftqualitätsrichtlinien [16] 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}) 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 [14] 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

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 [21], 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.

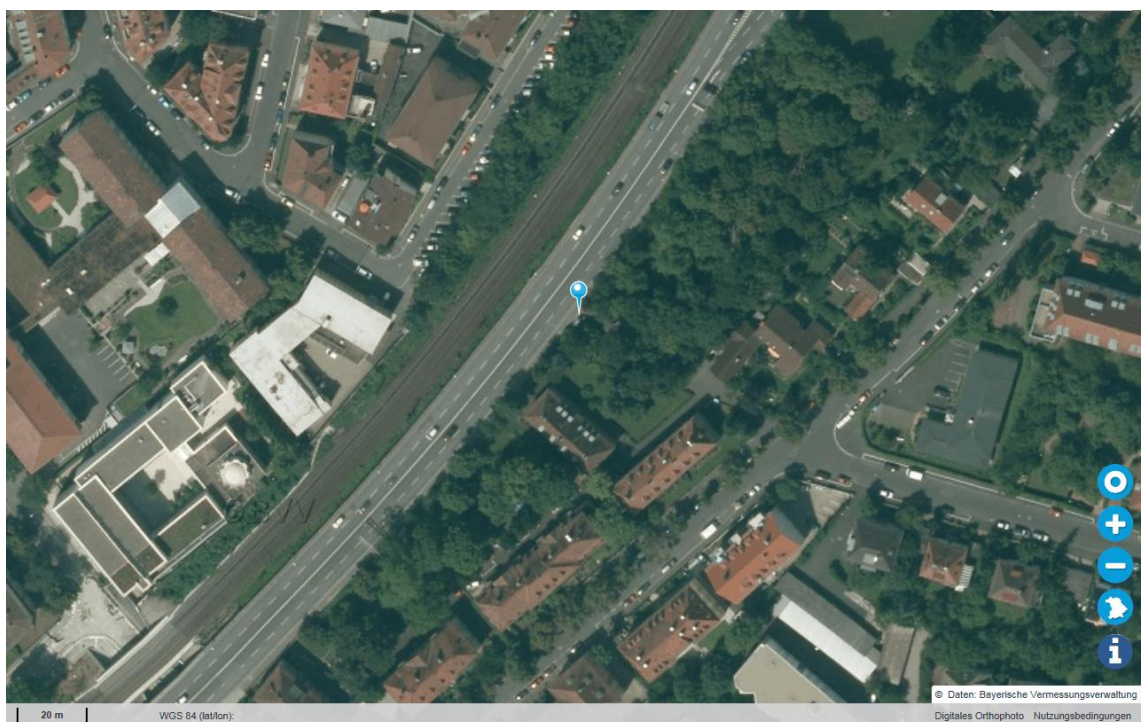
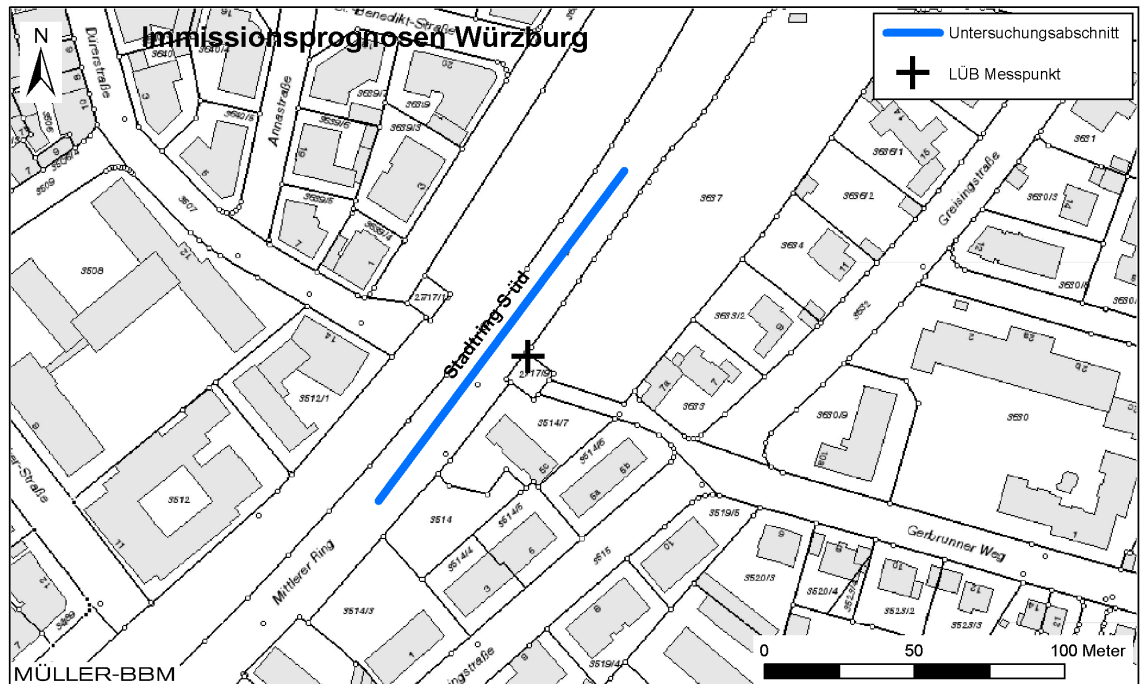


Abbildung 2. Messort Stadtring Süd in Würzburg, Lageplan (oben) [23] und Luftbild (unten) [22].



Abbildung 3. Blick auf den LÜB-Messcontainer Stadtring Süd in Würzburg, Richtung Südwesten (oben) und Richtung Nordosten (Mitte und unten) [15].

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 [11]. 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 [11].¹

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 [12] geprüfte, jedoch nicht aufgenommene Maßnahme.

In die geplante Umweltzone sollen nur Autos mit grüner Plakette (gemäß 35. BImSchV [7]) einfahren dürfen. Die Berechnungen zur Verursacheranalyse für das Bezugsjahr 2015 berücksichtigen keine Umweltzone.

3.4 Rechenverfahren zur Ermittlung der Verursacheranteile an der städtischen Hintergrundbelastung

Die städtische Hintergrundbelastung wird von den Emissionen aus Industrie, Gewerbe, Hausbrand, Kfz-Verkehr (Hintergrundanteil) und Sonstiger Verkehr beeinflusst. Die Verursacheranteile sind für das Bezugsjahr 2015 zu ermitteln. Dazu wurden auf Basis der Emissionsdaten (Abschnitte 4.5 und 4.6) Ausbreitungsrechnungen mit dem Modell LASAT [1] konform zu den Anforderungen der TA Luft [4] durchgeführt. Die für

¹ Die LÜB-Stationen Kardinal-Faulhaber-Platz und Theodor-Heuss-Damm in Würzburg werden nicht mehr betrieben.

den Messort Stadtring Süd ermittelten Zusatzbelastungen dienten zur Ermittlung der Beiträge der einzelnen Verursacher an der städtischen Hintergrundbelastung. Die Zusatzbelastungen werden der regionalen (großräumigen) Hintergrundbelastung aufaddiert, um die städtische Hintergrundbelastung zu ermitteln.

Die Schadstoffausbreitung wurde mit einem Lagrange-Modell (Teilchen-Simulation) unter Einbeziehung der in Abschnitt 4.3 beschriebenen meteorologischen Daten prognostiziert. Es wurde mit dem Modell LASAT, Version Version 3.3.48 [1] gearbeitet. Die Programmparameter wurden konform zu den Anforderungen des Anhangs 3 der TA Luft [4] angesetzt, d. h. entsprechend AUSTAL2000.

3.5 Rechenverfahren zur Ermittlung der verkehrsbedingten lokalen Zusatzbelastung

Die Berechnung der Luftschadstoffkonzentrationen in dem betrachteten Stadtring Süd erfolgt mittels des Rechenprogramms IMMIS-Em/Luft Version 6.1 [10]. IMMIS-Em/Luft oder IMMIS^{em/luft2} 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 Bebauungen³. Dem Rechenverfahren sind eine 10-Jahres-Klimatologie des DWD, sowie ein Satz von Tages-Wochen- und Jahresgängen hinterlegt [9].

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 [8] vom internen Emissionsmodul berechnet. Im vorliegenden Fall wurden die Emissionsfaktoren mit einer für Würzburg abgeleiteten Fahrzeugflotte (siehe 4.6.3) 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.

² Programmbezeichnung laut Handbuch

³ „Vereinfachte 2-D-Modellierung“ gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 14 [20]

4 Technische Grundlagen

4.1 Projektspezifische Unterlagen

Für die Bearbeitung der vorliegenden Untersuchung wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) folgende Unterlagen zur Verfügung gestellt [23]:

- Emissionserklärungen Würzburg 2012 mit Quell- und Emissionsdaten (NO_x und PM₁₀) für genehmigungspflichtige Anlagen
- Emissionskataster Bayern 2004, Region Würzburg mit Quell- und Emissionsdaten (NO_x und PM₁₀) für Industrie, Gewerbe, Feuerung zur Gebäudeheizung (Hausbrand), sonstiger Verkehr und Straßenverkehr
- Straßen- und Verkehrsdaten der Hauptverkehrsstraßen Würzburg, aus Lärmkartierung 2012 (Datenbasis 2010).
- Verkehrsbelastung Stadtring Süd, Zählung 29.07.2015
- Kfz-Zulassungsstatistiken der Zulassungsbezirke Würzburg, Würzburg-Stadt, Kitzingen, Main-Tauber und Main-Spessart
- Digitale Gebäudedaten Würzburg
- Digitale Geländehöhen
- Ausbreitungsklassenzeitreihe von der DWD-Station Würzburg, repräsentatives Jahr 2012

Die Unterlagen wurden gesichtet, ausgewertet und in die für die angewandten Modelle geeigneten Formate übertragen.

4.2 Ausbreitungsmodellierung für die Verursacheranteile an der städtischen Hintergrundbelastung

4.2.1 Rechengebiet und räumliche Auflösung

Zur Berücksichtigung der o. a. Emissionsquellen in den Ausbreitungsrechnungen mit LASAT wurde im vorliegenden Fall das Rechengebiet mit einer Kantenlänge von 10.000 m x 14.000 m definiert. Das Raster zur Berechnung der Immissionskonzentrationen im inneren Netz (Rechengitter 2) wurde mit einer Maschenweite von 100 m festgelegt. Die Maschenweite im äußeren Netz (Rechengitter 1) wurde mit 200 m größer gewählt. Das Rechengebiet ist in Abbildung 4 zusammen mit der Lage der Messorte und der Abgrenzung der Rechengitter dargestellt.

Die Auswertung der ermittelten Zusatzbelastungen wurde im Rechengitter 2 durchgeführt. Die Konzentration an den Aufpunkten wurde als Mittelwert über ein vertikales Intervall vom Erdboden bis 3 m Höhe über dem Erdboden berechnet, sie ist damit repräsentativ für eine Aufpunkthöhe von 1,5 m über Flur. Die so für ein Volumen des Rechengitters berechneten Mittelwerte gelten als Punktwerte für die darin enthaltenen Aufpunkte.



Abbildung 4. Rechengebiet Würzburg.

4.3 Meteorologische Daten

Für die Berechnung der Luftschadstoffausbreitung werden repräsentative Daten über die Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung sowie der atmosphärischen Stabilitäten benötigt, die üblicherweise in sogenannten Ausbreitungsklassenstatistiken oder Ausbreitungsklassenzeitreihen angegeben werden.

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 Ausbreitungsklassen des Jahres 2012 liegen als meteorologische Zeitreihe (AKTerm) mit einer zeitlichen Auflösung von einer Stunde vor [13]. Das Jahr 2012 wurde vom Deutschen Wetterdienst hinsichtlich der Ausbreitungsbedingungen (Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Ausbreitungsklassen) zum repräsentativen Jahr für den Standort bestimmt [2].

In Abbildung 5 sind die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten der verwendeten Daten dargestellt. Am Standort liegt ein Maximum der Windrichtungen aus Südwest bis West vor, ferner sekundäre Maxima aus östlichen bis nordöstlichen Windrichtungen und für geringere Geschwindigkeiten aus südsüdöstlichen Richtungen. Die mittlere Windgeschwindigkeit in der Messhöhe von 10 m beträgt 3,3 m/s.

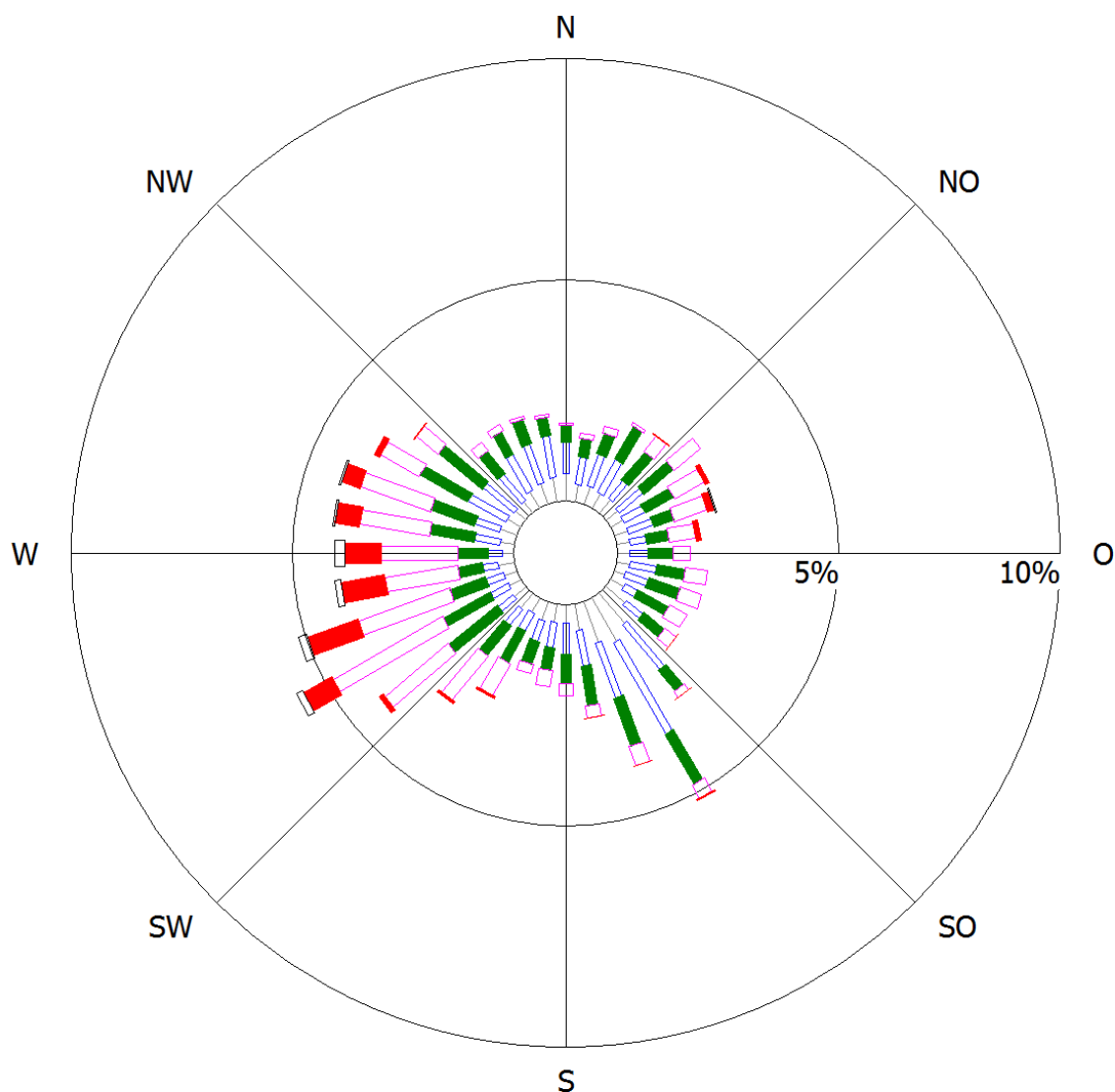
Die Häufigkeitsverteilungen der o. g. Daten dienen bei den Berechnungen nur als Referenz. Die Topografie (insbesondere das Geländere relief) hat infolge von Umlenkungs- oder Kanalisierungseffekten einen Einfluss auf das örtliche Windfeld und damit auf die Ausbreitungsbedingungen. Dem wird durch die Anwendung eines der Ausbreitungsrechnung vorgeschalteten Windfeldmodells [1] Rechnung getragen, welches für das gesamte Untersuchungsgebiet die durch die Topografie geprägte örtliche Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung berechnet. Die verwendeten Daten repräsentieren in dieser Vorgehensweise nur die großräumigen Windverhältnisse, die dann mit den berechneten örtlichen Windfeldern statistisch gekoppelt werden. Damit erhält man für das Rechenggebiet flächendeckend die lokalen Windverhältnisse.

Die vom Partikelmodell LASAT benötigten meteorologischen Grenzschichtprofile und die hierzu benötigten Größen

- Windrichtung in Anemometerhöhe
- Monin-Obukhov-Länge
- Mischungsschichthöhe
- Rauigkeitslänge
- Verdrängungshöhe

wurden gemäß Richtlinie VDI 3783 Blatt 8 [19] und entsprechend den in Anhang 3 der TA Luft [4] festgelegten Konventionen bestimmt.

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



Station	: Würzburg	Häufigkeit ABK		kleiner 1.4 m/s
Rechtswert	: 4352992	I : 11.9 %		1.4 bis 2.3 m/s
Hochwert	: 5516858	II : 16.1 %		2.4 bis 3.8 m/s
Meßhöhe	: 10	III/1 : 50.4 %		3.9 bis 6.9 m/s
Windgeschw.	: 3.3 m/s	III/2 : 12.2 %		7.0 bis 10 m/s
Kalmen	: 0.65 %	IV : 6.4 %		größer 10 m/s
		V : 3.1 %		

Abbildung 5. Häufigkeiten von Windrichtungen, Windgeschwindigkeiten und Ausbreitungsklassen 2012 an der DWD-Station Würzburg [13].

4.4 Berücksichtigung von Gelände und Bebauung

Die geografische Höhe über Normalhöhennull (NHN) im Rechengebiet variiert zwischen 160 m und 460 m. Zur Berücksichtigung der Orographie bei der Berechnung der Windströmungen wurden die Geländehöhen in Form eines digitalen Geländemodells (DGM) zugrunde gelegt. Die digitalen Geländehöhen wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt [23]. Auf Basis dieser Geländedaten wurde ein digitales Geländemodell in einer Rasterauflösung von 50 m (Abbildung 6) erstellt, das bei den Strömungs- und Ausbreitungsrechnungen mit LASAT verwendet wurde.

Die Bebauung wird explizit bei den Immissionsprognosen auf lokaler Skala mit $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$ berücksichtigt.

Die Bodenrauigkeit des Geländes wird durch eine mittlere Rauigkeitslänge z_0 beschrieben. Sie ist nach Anhang 3 der TA Luft aus den Landnutzungsklassen des CORINE-Katasters zu bestimmen. Die auf der Basis von Geländenutzungsdaten errechnete und auf den nächstgelegenen Tabellenwert gerundete Bodenrauigkeit ergibt sich zu $z_0 = 1,0$ m.

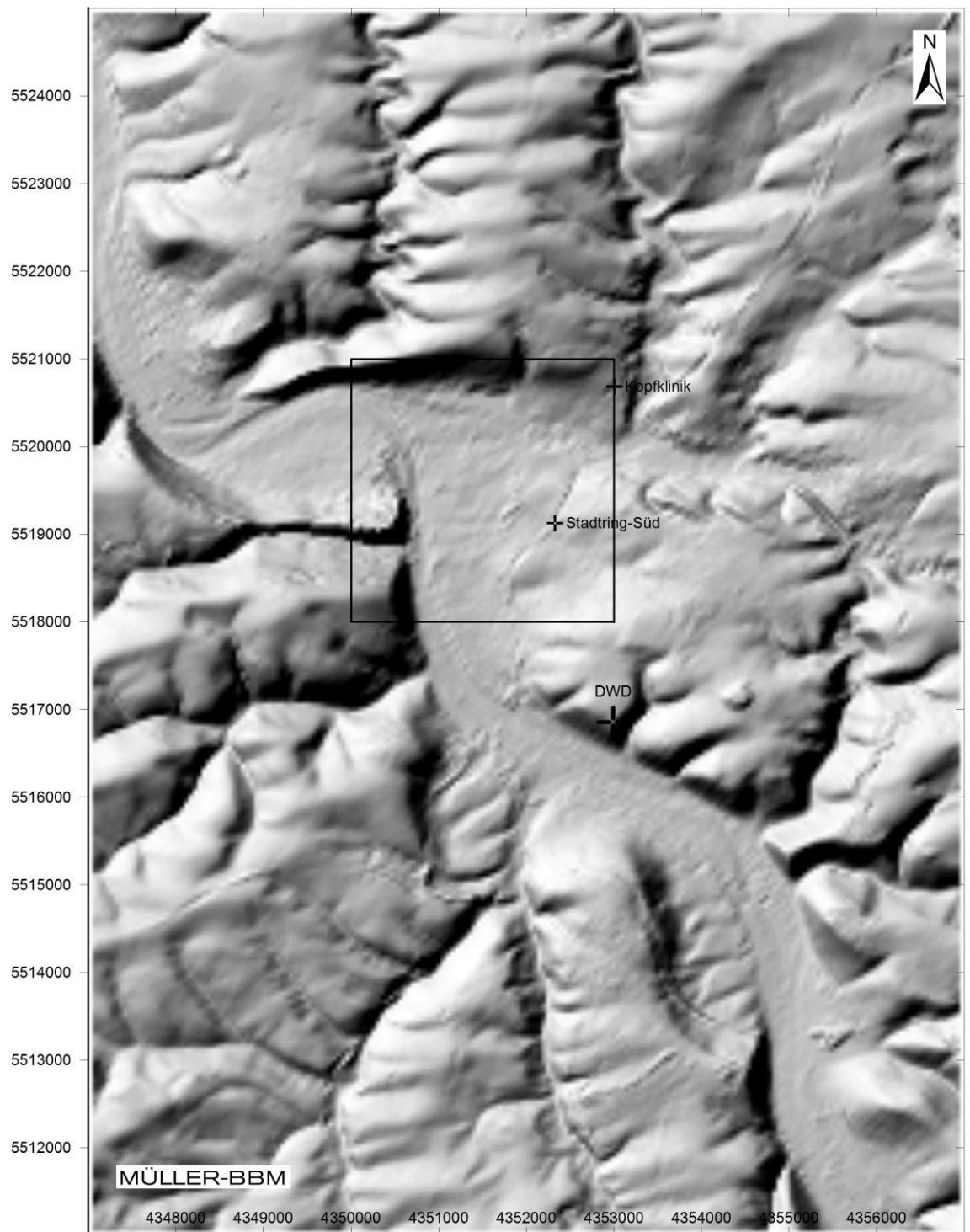


Abbildung 6. Geländerelief im Rechengebiet mit Messpunkten und Anemometerposition der DWD-Station.

4.5 Emissionen Industrie, Gewerbe, Hausbrand und Sonstiger Verkehr

4.5.1 Emissionen genehmigungspflichtiger Industrieanlagen

Die Quell- und Emissionsdaten für die genehmigungspflichtigen Anlagen wurden vom LfU zur Verfügung gestellt [23]. Die emissionstechnischen Daten sind im Anhang A in Tabelle 11 zusammengestellt. Die in den Tabellen und in Abbildung 12 sowie Abbildung 13 genannten Emissionsdaten wurden in den Ausbreitungsrechnungen mit LASAT berücksichtigt.

Die jeweils vom Wärmestrom, dem Quelldurchmesser und der Abgasgeschwindigkeit abhängigen effektiven Quellhöhen wurden gemäß Richtlinie VDI 3782 Blatt 3 [17] programmintern durch das verwendete Ausbreitungsmodell LASAT ermittelt. Die Eingangsdaten Quelldurchmesser und Abgasgeschwindigkeit wurden aus den Angaben des LfU bestimmt. Der emittierte Wärmestrom Q_q in MW wurde jeweils nach der in Anhang 3 der TA Luft [4] angegebenen Formel berechnet. Die Parameter sind zusammen mit den Emissionsdaten für die Industrieanlagen im Anhang A aufgeführt.

4.5.2 Emissionskataster Bayern

Die Emissionsdaten aus dem Emissionskataster für die Quellgruppen

- „Nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen“ (Hausbrand),
- „Sonstige nicht genehmigungsbedürftige Anlagen“ und „Sonstige nicht gefasste Quellen“ (Gewerbe)
- Sonstiger Verkehr⁴

liegen als Flächenmittel für Rasterflächen von 2 km x 2 km vor. Die Emissionen wurden als Volumenquellen über den Rasterflächen angesetzt:

- Hausbrand 10 m bis 15 m Höhe über Grund
- Gewerbe 0 m bis 10 m Höhe über Grund
- Sonstiger Verkehr 0 m bis 3 m Höhe über Grund

Die räumliche Verteilung der Emissionen ist in Anhang B in Abbildung 14 bis Abbildung 18 dargestellt. Die Emissionsdaten wurden in den Ausbreitungsrechnungen mit LASAT berücksichtigt.

⁴ Der sonstige Verkehr besteht aus Bahn-, Schiffs- und Flugverkehr [6].

4.6 Emissionen Straßenverkehr

4.6.1 Verkehrsmengen „Hintergrundanteil“

Die Verkehrsmengen und die Geschwindigkeitsbegrenzungen für das Straßennetz in Würzburg wurden für die vorliegenden Berechnungen zur Verfügung gestellt [23]. Die Straßen- und Verkehrsdaten entstammen der Lärmkartierung 2012. Teilweise wurde in der Lärmkartierung wegen fehlender Angaben der Schwerverkehrsanteil auf 20 % gemäß den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90) angesetzt. Für die vorliegende Untersuchung wurde auf den betroffenen Straßenabschnitten dieser unrealistisch hohe Schwerverkehrsanteil auf 10 % reduziert. Dieser Wert liegt näher an innerstädtischen Schwerverkehrsanteilen, wie der Vergleich mit den Verkehrszähl-
daten der Stadt Würzburg zeigt.

Die durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken DTV in Kfz/24h und die zugehörigen Schwerverkehrsanteile (SV) in % mit einem zulässigen Gesamtgewicht (zGG) > 3,5 t sind in der Abbildung 7 dargestellt. Diese wurden für den Hintergrund-
anteil des Verkehrs zugrunde gelegt.

4.6.2 Verkehrsmengen lokaler Verkehr

Für den Stadtring Süd in Würzburg liegen zudem Daten aus Verkehrszählungen der Stadt Würzburg im Jahr 2015 vor, die ebenfalls vom LfU zur Verfügung gestellt wurden [23] und in Tabelle 3 aufgelistet sind. Diese wurden für den lokalen Anteil des Verkehrs zugrunde gelegt.

Tabelle 3. Verkehrszähl-
daten Stadtring Süd Würzburg 2015 [23].

Straßenabschnitt	DTV	SNfz-Anteil	LNfz-Anteil	BUS-Anteil
	[Kfz/24h]	% / 24h	% / 24h	% / 24h
Stadtring Süd	40.820	4,1	6,0	0,3

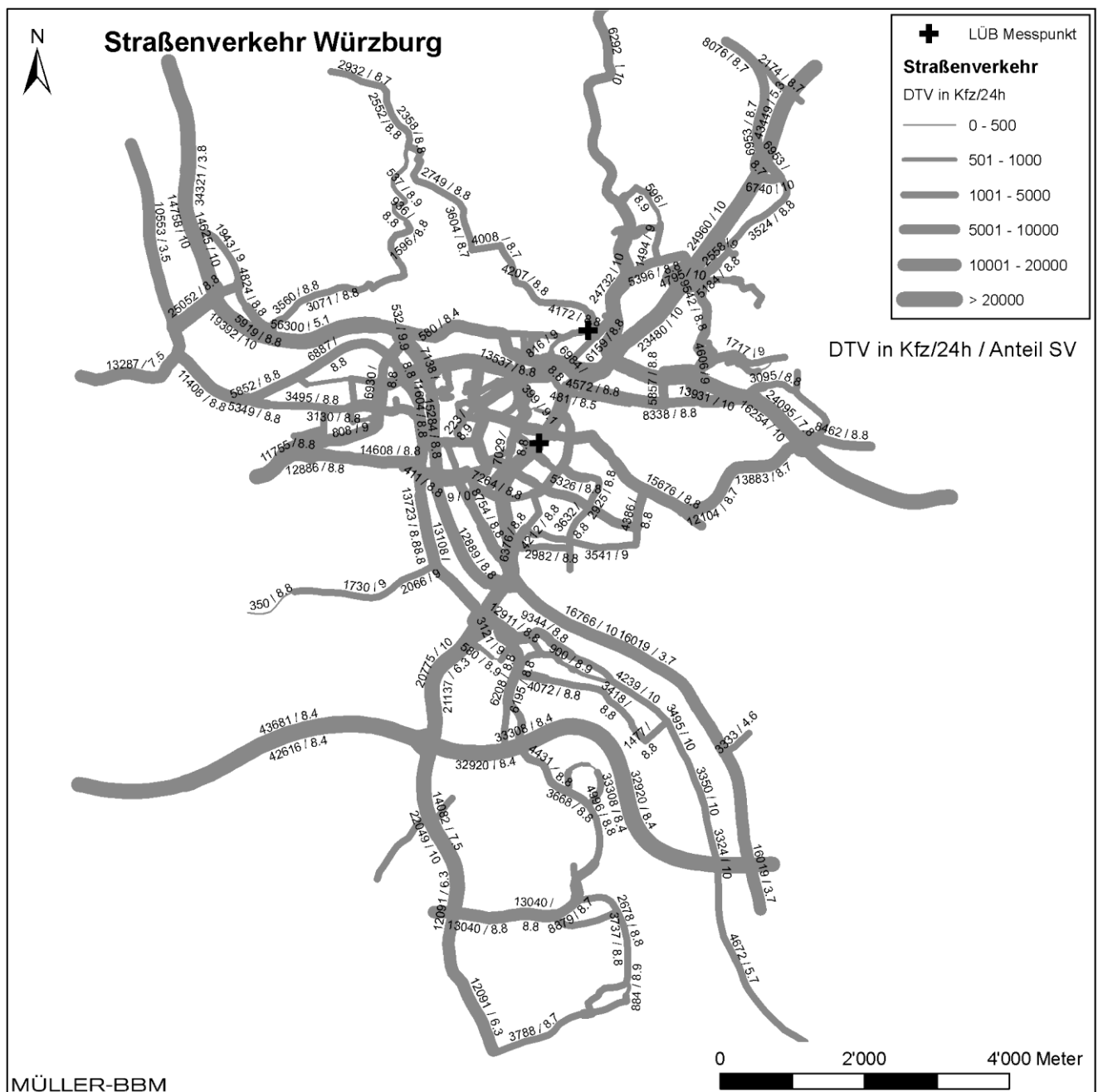


Abbildung 7. Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken DTV in Kfz/24h und Schwerverkehrsanteil (SV > 3,5 t zGG) in % [23].

4.6.3 Flottenzusammensetzung

Für die Zulassungsbezirke Würzburg, Würzburg-Stadt, Kitzingen, Main-Tauber und Main-Spessart wurden vom LfU die Zulassungszahlen differenziert nach Schadstoffklassen zur Verfügung gestellt. 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 (SNF) und Busse (BUS) vor. Die daraus zusammengefassten Angaben zur statischen Fahrzeugflotte in der Region Würzburg [23] sind in der Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4. Kfz-Zulassungsstatistik (Stand 01.01.2015) nach Schadstoffklassen in der Region Würzburg [23].

Schadstoffnorm	PKW				LNfz		SNfz		BUS	
	Benzin		Diesel		<=3,5t zGG		>3,5t 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 Dieselmotoren. Der Ansatz basiert auf den im HBEFA 3.2 [8] 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 [8].

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%

4.6.4 Emissionsfaktoren der Kfz

Die Berechnung der verkehrsbedingten Emissionen (Menge der von den Fahrzeugen erzeugten Schadstoffe) erfolgte mit dem Verfahren IMMIS^{em} [10] auf der Grundlage des aktuellen Handbuchs „Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA 3.2“ [8] und der in Abschnitt 4.6.3 beschriebenen Fahrzeugflotte.

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 intern den „warmen“ Emissionsfaktoren addiert 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 am Stadtring Süd wurden für den IMMIS^{em/luft} Kaltstarttyp "commercial" berechnet.

4.6.5 Ermittelte Emissionen des Straßenverkehrs

Die Emissionen des Kfz-Verkehrs auf dem Straßennetz von Würzburg wurden anhand der Straßen- und Verkehrsdaten (Abbildung 7) mit dem Verfahren IMMIS^{em/luft} [10] wie o. a. auf der Grundlage des aktuellen Handbuchs „Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA 3.2“ [8] und der in Abschnitt 4.6.3 beschriebenen Fahrzeugflotte berechnet. Die Verkehrssituationen wurden entsprechend den zugehörigen Geschwindigkeitsbegrenzungen den Straßentypen Autobahn, Hauptverkehrsstraße oder Erschließungsstraße zugeordnet. Die Qualität des Verkehrsablaufs, der sog. Level of Service⁵ (LOS) wurde für die Straßenabschnitte nach Angaben in der Feinstaubuntersuchung Würzburg [5] angesetzt. Die LOS unterscheiden zwischen freiem Verkehr (LOS 1), dichtem Verkehr (LOS 2), gesättigtem Verkehr (LOS 3) und Verkehrsstau (LOS 4).

Die ermittelten Emissionen (Abbildung 8) wurden bei den Ausbreitungsrechnungen zur Verursacheranalyse „Kfz-Verkehr Hintergrund“ angesetzt. Dabei wurde im Bereich der Messstelle Stadtring Süd zur Vermeidung einer Doppelzählung ein Straßen-segment von ca. 150 m Länge ausgespart.

⁵ Level of Service (LOS) dienen zur Abbildung von Verkehrsqualitäten (freier, dichter, gesättigter Verkehrsfluss und Stau) und sind Bestandteil der Definition von Verkehrssituationen nach HBEFA [8].

Zur Ermittlung des Immissionsbeitrags „lokaler Verkehr“ wurden die Emissionen für den Stadtring Süd anhand der Verkehrszählraten 2015 (Tabelle 3) und den in $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$ angesetzten Parameter (Tabelle 6) mit $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$ berechnet. Neben der Verkehrssituation „Agglomeration/Hauptverkehrsstraße“ (Ahvs), d. h. Hauptverkehrsstraße in einem Ballungsraum, sind die angesetzten Verkehrsqualitäten nach HBEFA 3.2, die Level Of Service (LOS) angegeben. Die für den Stadtring Süd im Jahr 2015 ermittelten Emissionen sind in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 6. Parameter Stadtring Süd zur Emissions- und Immissionsberechnung mit $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$.

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

Tabelle 7. Emissionen Stadtring Süd 2015.

Straßenabschnitt	NO _x	NO ₂	Emissionen 2015		
			PM ₁₀ ges.	PM ₁₀ Abgas	PM ₁₀ Abr./Aufw.
			in g/(m*d)		
Stadtring Süd	23,3	5,2	2,46	0,55	1,92

⁶ Die Parameter zur Bebauung wurden entsprechend den Gegebenheiten am LÜB-Messcontainer gewählt.

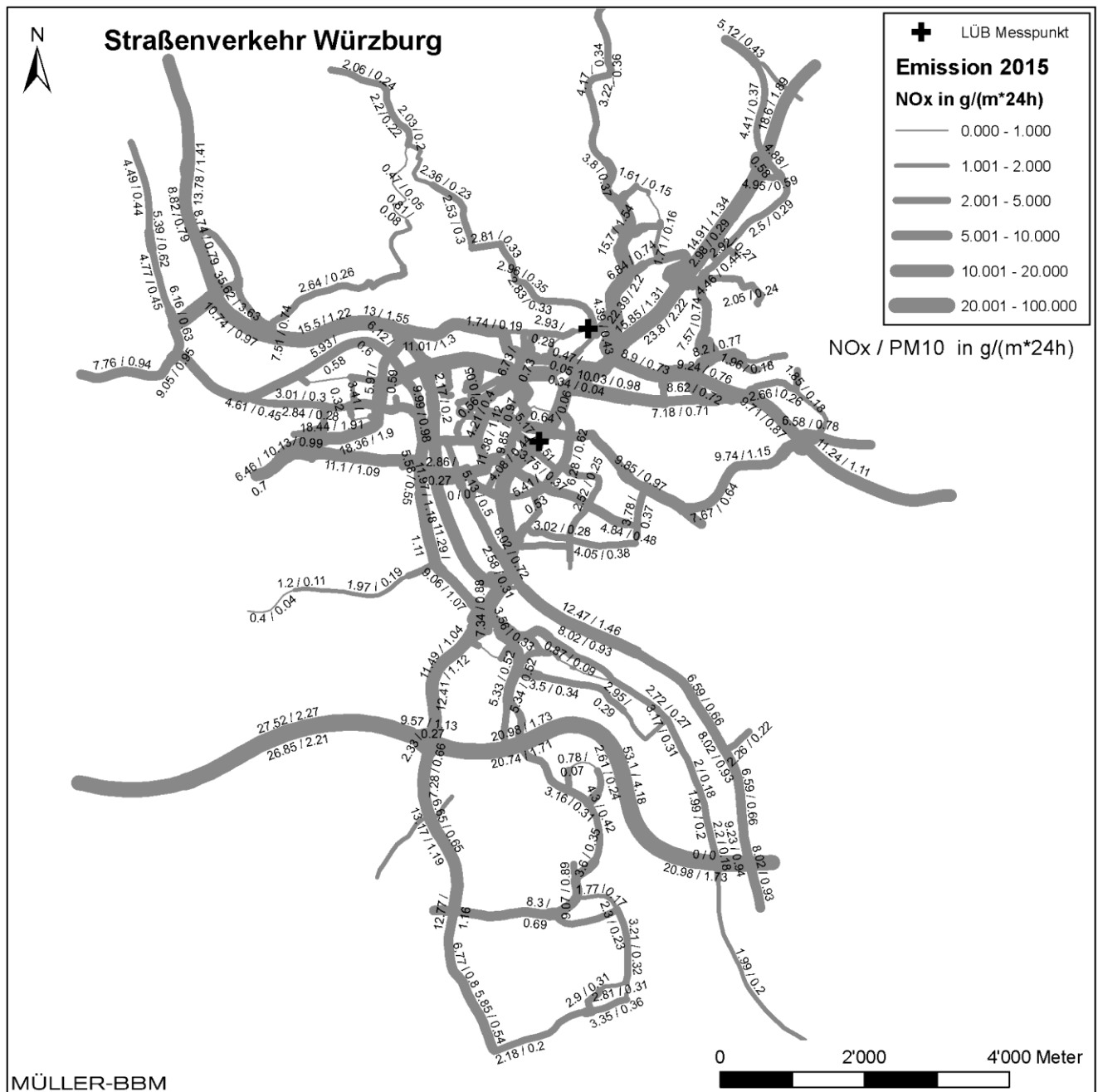


Abbildung 8. Emissionen Straßenverkehr Würzburg 2015.

5 Ergebnisse

5.1 Methodik

Aufgabe der vorliegenden Untersuchung ist die Ermittlung der Anteile der einzelnen Verursacher an den Immissionen am LÜB-Messstandort Stadtring Süd in Würzburg. Dazu wurden für den Standort Stadtring Süd die Immissions-Zusatzbelastungen von Stickoxiden (NO_x) und PM_{10} für die einzelnen Verursachergruppen (Beitrag des lokalen Verkehrs sowie Beiträge verschiedener Quellgruppen zur städtischen Hintergrundbelastung) getrennt berechnet und der regionalen Hintergrundbelastung überlagert. Grundlage waren die für die Emittentengruppen Industrie, Gewerbe, Hausbrand und Sonstiger Verkehr⁷ zur Verfügung gestellten Emissionsmassenströme (4.5), die für den lokalen und den übrigen⁸ Straßenverkehr ermittelten Emissionen (4.6) und die Parameter der Ausbreitungsmodellierung (4.2).

Die NO_2 -Immissionsbeiträge zur städtischen Hintergrundbelastung wurden nach dem Romberg-Ansatz [9] aus NO_x -Werten berechnet. Der NO_2 -Beitrag des lokalen Verkehrs wurde mit dem in $\text{IMMIS}^{\text{em/luft}}$ [10] integrierten Photochemieansatz ermittelt.

Die o. g. Immissionsbeiträge der Emittentengruppen Industrie, Gewerbe, Hausbrand und „Sonstiger Verkehr“ sowie „übriger Straßenverkehr“ wurden aufsummiert, um die städtische Hintergrundbelastung zu erhalten. Durch weitere Addition der regionalen Hintergrundbelastung und des Beitrags des lokalen Straßenverkehrs wurde die Gesamtbelastung am Standort als Ergebnis der Immissionsprognose ermittelt. Um die angewandte Methodik zu validieren, wurden die Prognosen der NO_2 - und PM_{10} -Jahresmittelwerte mit den Messwerten aus dem Bezugsjahr 2015 verglichen.

5.2 Emissionsbilanz

Zur Ermittlung einer Emissionsbilanz für die Beiträge zum städtischen Hintergrund (ohne regionale Hintergrundbelastung) wurden die Emissionen des in Abbildung 8 dargestellten Straßennetzes, die Emissionen der Katasterflächen und die Emissionen der innerhalb des Rechengebietes liegenden Anlagen aufsummiert.

In Tabelle 8 sind die Emissionen der entsprechenden Verursacher für das Bilanzierungsgebiet aufgelistet und in Abbildung 9 sind die prozentualen Anteile der PM_{10} - und NO_x -Emissionen der Verursacher für das Bilanzierungsgebiet dargestellt.

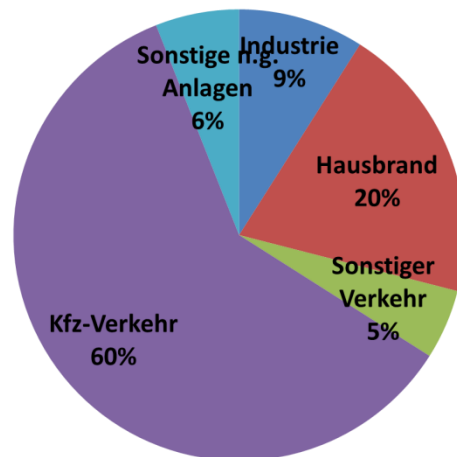
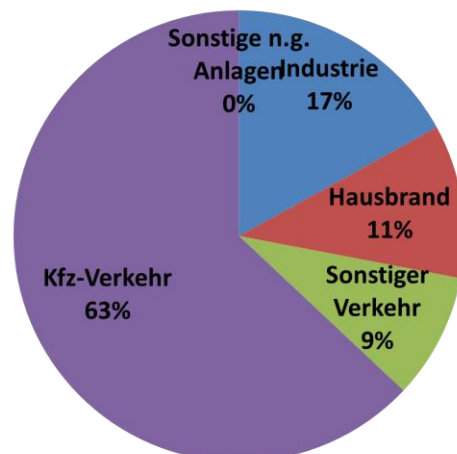
Der Verkehr mit 60 % und der Hausbrand mit 20 % stellen die dominierenden PM_{10} -Emissionsquellen dar. Mit 63 % ist der Straßenverkehr auch die dominierende NO_x -Emissionsquelle. Die industriellen Emissionen und der Hausbrand folgen mit 17 % und 11 % Anteilen an den NO_x -Emissionen. Hinsichtlich der Verursachung der bodennahen Immissionskonzentrationen sind die verschiedenen Emissionshöhen über Grund von wesentlichem Einfluss. Die Freisetzung der Schadstoffe über hohe Kamine der industriellen Emissionen bedeutet wegen der dort höheren Luftturbulenzen eine starke Verdünnung der Schadstoffkonzentrationen und damit geringere Immissionen am Boden als bei bodennaher Freisetzung wie vom Straßenverkehr.

⁷ Bahn-, Schiffs- und Flugverkehr

⁸ Verkehr auf dem Straßennetz in Augsburg ohne lokalen Verkehr.

Tabelle 8. Aufteilung der Emissionen in Würzburg auf die verschiedenen Quellsektoren.

Würzburg Emissionsbilanz	Partikel (PM ₁₀)		Stickoxid (NO _x)	
	Emission in t/a	Anteile	Emission in t/a	Anteile
Straßenverkehr	101,1	60%	1.069	63%
Sonstiger Verkehr	8,9	5%	161	9%
Industrie (genehmigungsbedürftige Anlagen)	14,9	9%	287	17%
Sonstige nicht genehmigungsbedürftige Anlagen	9,3	6%	0	0%
Nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen	33,7	20%	185	11%
Summe	167,9	100%	1.703	100%

PM₁₀-Quellverteilung WürzburgNO_x-Quellverteilung WürzburgAbbildung 9. Aufteilung der PM₁₀-Emissionen (oben) und NO_x-Emissionen (unten) in Würzburg auf die verschiedenen Quellsektoren.

5.3 Regionale Hintergrundbelastung und Vorbelastung

Die regionale Hintergrundbelastung wurde vom Auftraggeber aus den Messwerten der LÜB-Messstation Andechs der Jahre 2013 bis 2015 [23] abgeleitet. Demnach sind im Jahresmittel für Würzburg folgende regionalen Hintergrundbelastungen anzusetzen:

- 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 LÜB-Messstationen Würzburg Kopfklinik und Schweinfurt eine Vorbelastung (Summe aus regionaler und städtischer Hintergrundbelastung) ab [23]:

- 17 µg/m³ für PM₁₀
- 42 µg/m³ für NO_x
- 25 µg/m³ für NO₂ jeweils als Jahresmittelwert.

5.4 Verursacheranteile im Jahr 2015

Die PM₁₀- und NO₂-Immissionen an der LÜB-Messstation Stadtring Süd setzen sich aus Beiträgen unterschiedlicher Verursacher zusammen. Im Folgenden sind die entsprechenden Verursacherbeiträge dargestellt.

Beitrag der regionalen Hintergrundbelastung

- Beiträge der Verursacher Verkehr, Industrie und Hausbrand aus der Region
- Biogene Emissionen aus der Region
- Sekundärbeiträge, die sich im Stadtgebiet aus gasförmigen Vorläufersubstanzen der Region bilden
- Ferntransport

Die regionale Hintergrundbelastung wurde nach den o. g. Angaben des LfU (5.3) angesetzt.

Beitrag der städtischen Hintergrundbelastung

- Verkehrsabgase anderer Straßen im Stadtgebiet
- Industrielle und gewerbliche Abgase im Stadtgebiet
- Hausbrand im Stadtgebiet
- Sonstiger Verkehr

Die Emissionen im städtischen Umfeld der Messstation wurden aus Emissionserklärungen und aus Daten des Emissionskatasters Bayern (4.5) abgeleitet sowie für den Hintergrundanteil des Verkehrs berechnet.

Mittels Ausbreitungsrechnung (4.2) wurden für den Messpunkt Stadtring Süd die Immissionsbeiträge ermittelt und aufsummiert:

4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₁₀ und 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO₂.

- Sonstige Immissionseinflüsse

Der Immissionsbeitrag nicht quantifizierbarer Quellen im Stadtgebiet (z. B. Verwitterung und Baustellen) oder nicht im Emissionskataster oder durch Emissionserklärungen erfasste Quellen kann nur abgeschätzt werden. Die Summe aus der regionalen Hintergrundbelastung und den Immissionsbeiträgen (Zusatzbelastungen) von Industrie, Gewerbe, Hausbrand und „Sonstiger Verkehr“ sowie „übriger Verkehr Straßennetz Würzburg“ wurde mit den vom LfU angegebenen Vorbelastungswerten verglichen. Die dabei resultierenden Differenzen wurden den sonstigen Immissionsbeiträgen aus dem städtischen Hintergrund zugeordnet, die aus dem Emissionskataster nicht ableitbar sind. Der Immissionsanteil stellt mit 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ einen nicht unbedeutenden Beitrag zur PM₁₀-Hintergrundbelastung dar. Die mit den Ausbreitungsrechnungen ermittelte NO₂-Hintergrundbelastung ist dagegen höher als die o. a. vom LfU geschätzte NO₂-Vorbelastung. Dies wird v. a. auf den Einfluss der Emissionen auf den angrenzenden Straßenabschnitten des Stadtring Süds um die Messstelle zurückgeführt.

Beitrag des lokalen Verkehrs

- Verkehrsabgase der lokalen Kfz-Flotte (für PM₁₀ werden neben den Abgasen auch die Aufwirbelungs- und Abriebemissionen berücksichtigt).

Die lokalen Immissionen für PM₁₀ und NO₂ am Stadtring Süd wurden aus der Verkehrsstärke, der mittleren Windgeschwindigkeit und der Bebauungsgeometrie mit dem Ausbreitungsmodell für verkehrsbedingte Immissionen IMMIS^{em/luft} Version 6.1 [10] abgeschätzt. Am Straßenabschnitt in der Nähe der LÜB-Messstation Stadtring Süd beträgt die errechnete, durch lokalen Verkehr bedingte PM₁₀-Immission 3,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und 15,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für NO₂.

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 9 sind die ermittelten Verursacherbeiträge dargestellt. Die o. g. „Industriellen und gewerblichen Abgase im Stadtgebiet“ werden hier aufgeteilt in „genehmigungsbedürftige Anlagen“ und „nicht genehmigungsbedürftige Anlagen“ (Gewerbe und Hausbrand). „Hintergrund Verkehr“ in der Tabelle beinhaltet Straßenverkehr und sonstigen Verkehr.

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. Bei den PM₁₀-Emissionen des lokalen Kfz-Verkehrs werden die Feinstaubanteile nach Auspuffabgasen sowie Aufwirbelung und Abrieb unterschieden.

Die Verteilung der Verursacheranteile ist in Abbildung 10 (NO₂-Immissionen) und in Abbildung 11 (PM₁₀-Immissionen) dargestellt.

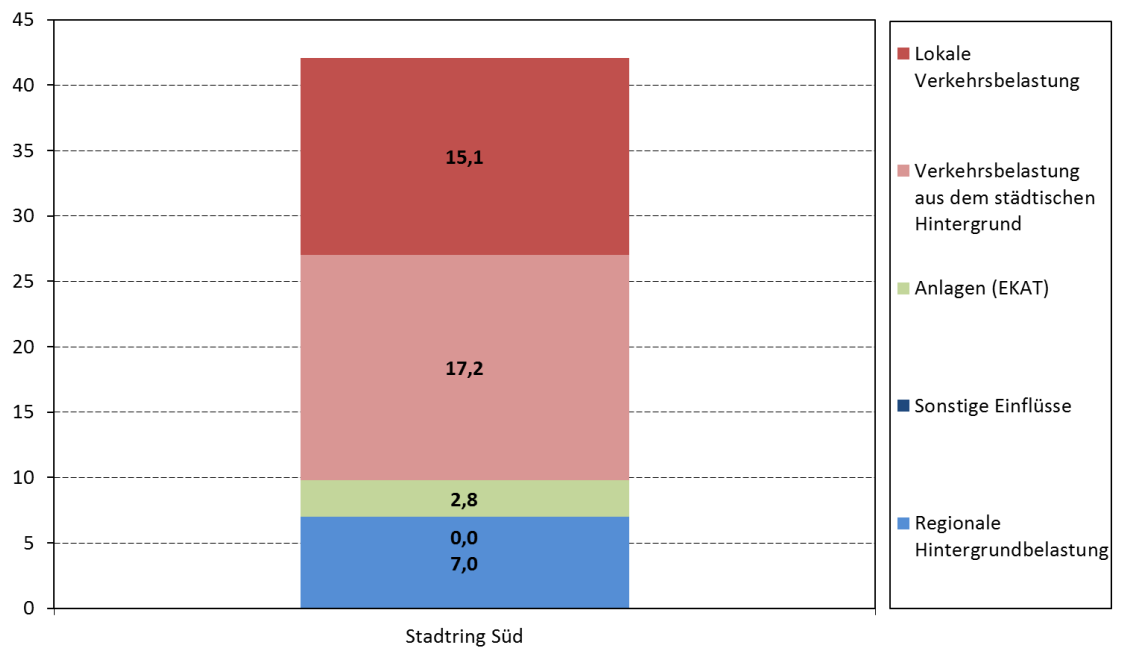
Tabelle 9. Verursacheranteile am Standort Stadtring Süd Würzburg ermittelt auf Grundlage von Ausbreitungsrechnungen (Erläuterung zur Aufteilung siehe Text).

Würzburg Stadtring Süd 2015	Partikel (PM ₁₀)		Stickstoffdioxid (NO ₂)	
	Konzentration [µg/m ³]	Anteile	Konzentration [µg/m ³]	Anteile
Prognosewert (Jahresmittel)	20,0	100,0%	42,1	100,0%
Regionale Hintergrundbelastung	11	55,0%	7	16,6%
Städtische Hintergrundbelastung	6,0	30,0%	20,0	47,5%
- Sonstige Einflüsse	2,0	10,0%	0,0	0,0%
- Genehmigungsbedürftige Anlagen	0,1	0,5%	0,6	1,4%
- nicht genehmigungsbedürftige Anlagen	0,7	3,5%	2,2	5,2%
- Hintergrund Verkehr	3,2	16,0%	17,2	40,9%
Lokaler Verkehr	3,0	15,0%	15,1	35,9%
- Abgas	0,7	3,3%	15,1	
- Aufwirbelung und Abrieb	2,3	11,7%		

Der Einfluss des Verkehrs wird insbesondere bei den NO₂-Immissionen deutlich. Aufgrund des lokalen Verkehrsaufkommens und des Kfz-Verkehrs (Hintergrundanteil) auf umliegenden Straßen sind fast 80 % der NO₂-Gesamtbelastung an der LÜB-Messstation Stadtring Süd vom Verkehr verursacht. Der lokale NO₂-Verkehrsbeitrag vom Stadtring Süd trägt mehr als ein Drittel zur NO₂-Gesamtbelastung bei. Der Anteil der regionalen NO₂-Hintergrundbelastung beträgt dagegen nur 17 %.

Der lokale PM₁₀-Verkehrsbeitrag an der Gesamtbelastung ist mit 15 % geringer. Insgesamt ist etwa ein Drittel der PM₁₀-Gesamtbelastung auf den Verkehr zurückzuführen. Die PM₁₀-Immission am Stadtring Süd stammt zu einem Anteil von 55% aus dem regionalen Hintergrund.

NO₂-Immissionsanteile Würzburg 2015 in µg/m³



NO₂-Immissionsanteile Würzburg 2015 in %

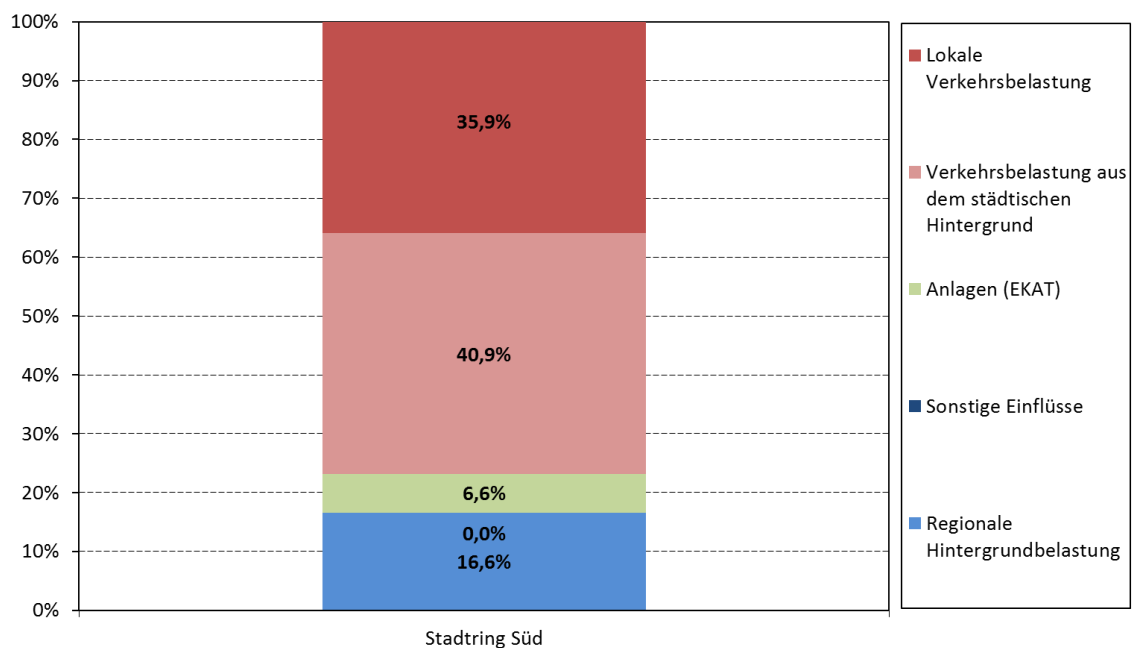
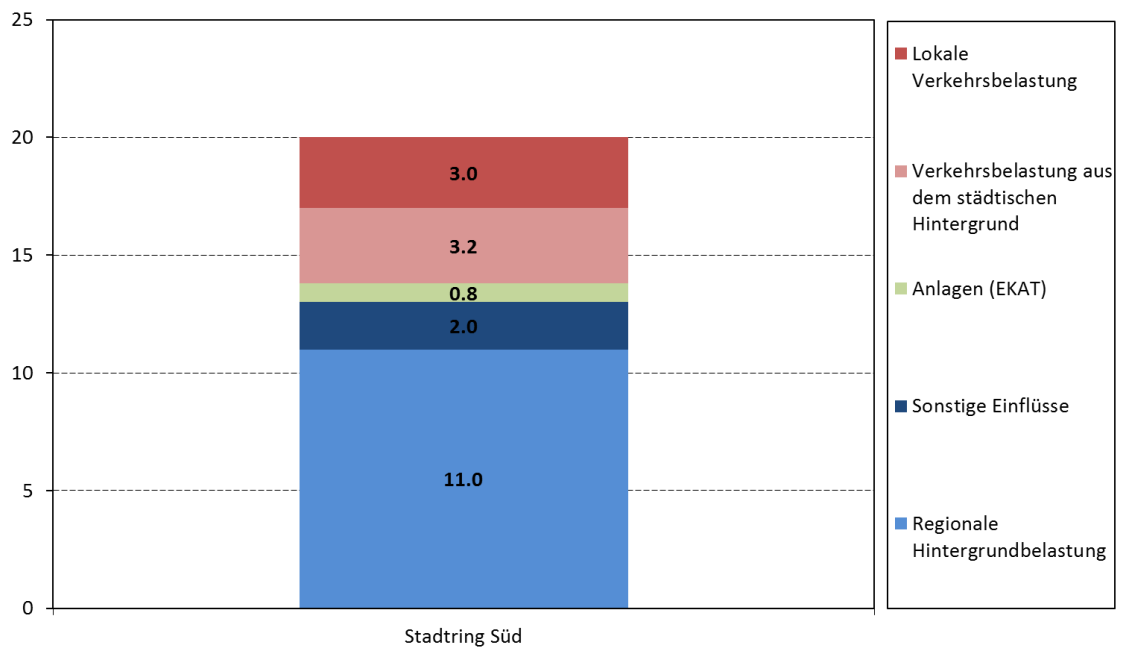


Abbildung 10. NO₂-Immissionsanteile an der LÜB-Messstation Stadtring Süd in Würzburg für das Bezugsjahr 2015.

PM₁₀-Immissionsanteile Würzburg 2015 in µg/m³



PM₁₀-Immissionsanteile Würzburg 2015 in %

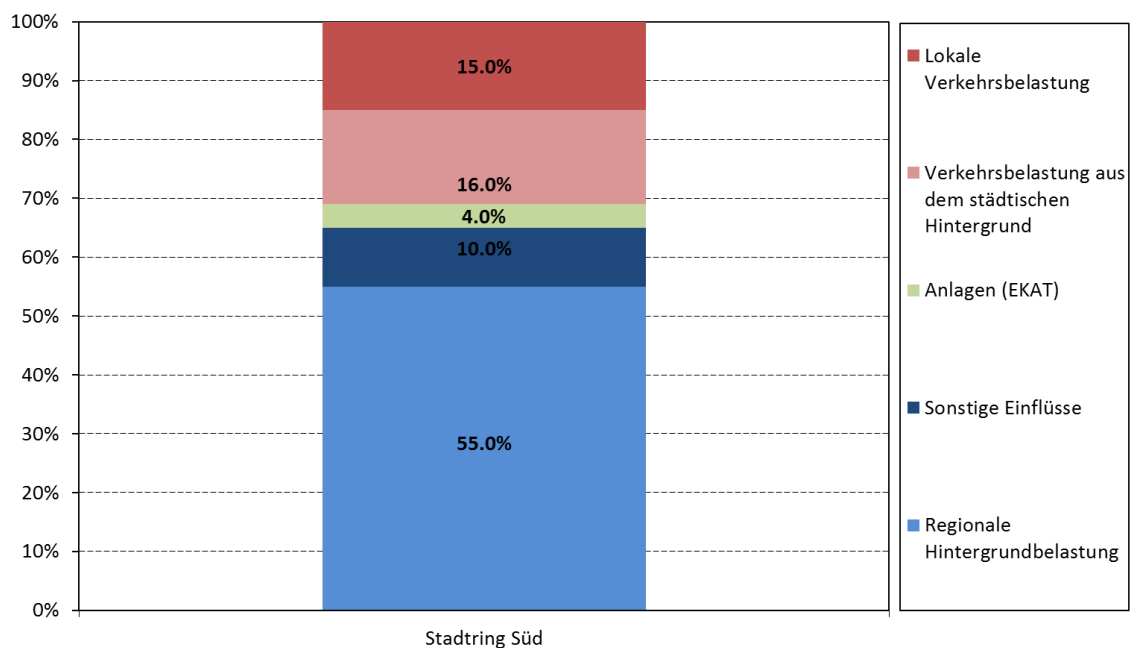


Abbildung 11. PM₁₀-Immissionsanteile an der LÜB-Messstation Stadtring Süd in Würzburg für das Bezugsjahr 2015.

5.5 Prüfung der Datenqualitätsziele

Im Anhang A der 39. BImSchV [14] sind Datenqualitätsziele für die Luftqualitätsbeurteilung definiert. Demnach sind bei Modellrechnungen für NO_2 und NO_x Unsicherheiten von maximal 30 % und für PM_{10} von maximal 50 % zulässig. Die Unsicherheit von Modellrechnungen ist nach 39. BImSchV definiert als die maximale Abweichung der berechneten Konzentrationswerte vom Messwert in % bezogen auf den Grenzwert.

Um die angewandte Methodik zu validieren, wurden die Ergebnisse der Immissionsprognosen für den NO_2 - und PM_{10} -Jahresmittelwert am Standort Stadtring Süd mit den Messwerten 2015 der LÜB-Messstation (Tabelle 2) verglichen.

Tabelle 10. Vergleich der Immissionsprognose Stadtring Süd mit den Messdaten 2015 [11].

Station Jahresmittel 2015	Stickstoffdioxid (NO_2)			Partikel (PM_{10})		
	Messung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Prognose [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Abweichung [%]	Messung [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Prognose [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Abweichung [%]
Würzburg	42	42,1	0,3	25	20,0	-12,5

Die Abweichungen der Immissionsprognose vom Messwert liegen bezogen auf den jeweiligen Grenzwert mit 0,3 % bei NO_2 und -12,5 % bei PM_{10} unter den zulässigen Unsicherheitsmargen. Die Datenqualitätsziele nach 39. BImSchV werden erfüllt.

Zur weiteren Prüfung wurde unter Berücksichtigung aller Emissionen eine Ausbreitungsrechnung mit LASAT bei einer Gitterauflösung von 4 m durchgeführt. Die LASAT-Ergebnisse am Ort der Messstation von $42,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für NO_2 und $21,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM_{10} bestätigen die Modellierung.

6 Grundlagen, verwendete Literatur

Bei der Erstellung des Gutachtens wurden neben den in Kapitel 4 aufgeführten projektspezifischen Daten die folgenden Unterlagen verwendet:

- [1] Dispersion Model LASAT, Version 3.3.48-64WI13-m4, Copyright (c) L. Janicke 1989-2015, Januar 2015, <http://www.janicke.de/de/lasat.html>.
- [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] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002, (GMBI. 2002, Heft 25 – 29, S. 511 – 605).
- [5] Feinstaubuntersuchung Würzburg, Untersuchung und Bewertung von Maßnahmen zur Reduzierung der Feinstaub- und Stockoxidbelastung in Würzburg. WVI Prof. Dr. Wermuth Verkehrsforschung und Infrastrukturplanung GmbH, i. A. der Stadt Würzburg, 21.07.2014.
- [6] Fortschreibung des Emissionskatasters Bayern für das Jahr 2004, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung IER, Universität Stuttgart, Im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt, Augsburg, 10.11.2008.
- [7] 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.
- [8] Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs HBEFA, Version 3.2, 17. Juli 2014, INFRAS Bern/Zürich, www.hbefa.net.
- [9] Handbuch IMMISem/luft/lärm zur Version 6, IVU Umwelt GmbH, Juni 2015.
- [10] IMMIS Version 6.1, DLL-Version 6.1, IMMIS-Em/Luft, Copyright (c) IVU Umwelt GmbH 1994-2015, Freiburg.
- [11] Lufthygienisches Landesüberwachungssystem Bayern (LÜB), Jahresberichte, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, <http://www.lfu.bayern.de/luft>.
- [12] Luftreinhalteplan für die Stadt Würzburg, 1. Fortschreibung, erarbeitet von der Regierung von Unterfranken, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG), Dezember 2010.

- [13] Meteorologische Daten (Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Ausbreitungs-
klasse), Zeitreihe AKTerm der Station Würzburg für das repräsentative Jahr
2012. Deutscher Wetterdienst (DWD), Abteilung Klima- und Umweltberatung,
Offenbach.
- [14] Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-
Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Luftqualitätsstandards und
Emissionshöchstmengen - 39. BImSchV) vom 02.08.2010 (BGBl. I S. 1065).
- [15] Ortsbesichtigung am 10.05.2016 mit Fotodokumentation.
- [16] 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.
- [17] Richtlinie VDI 3782 Blatt 3, Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der
Atmosphäre – Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung; Juni 1985
- [18] Richtlinie VDI 3782 Blatt 7: Umweltmeteorologie - Kfz-Emissionsbestimmung –
Luftbeimengungen. Hrsg.: Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und
DIN – Normenausschuss, Düsseldorf, November 2003.
- [19] Richtlinie VDI 3783 Blatt 8, Umweltmeteorologie - Messwertgestützte
Turbulenzparametrisierung für Ausbreitungsmodelle. Hrsg.: Kommission
Reinhaltung der Luft (KRdL) im VDI und DIN – Normenausschuss, Düsseldorf,
Dezember 2002.
- [20] 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.
- [21] Topographische Karte Bayern, Maßstab 1:50.000, Geogrid®-Viewer V6, EADS
Deutschland GmbH.
- [22] Topographische Karte und Luftbilder, BayernAtlas, Bayerische
Vermessungsverwaltung, <http://geoportal.bayern.de/bayernatlas>.
- [23] 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.

Anhang

A Quell- und Emissionsparameter genehmigungspflichtiger Anlagen aus den Emissionserklärungen 2012

Tabelle 11. Emissionsparameter der Anlagen [23].

ASTNR_AN-Nr.	Rechtswert	Hochwert	Hq in m	Aq in m	Bq in m	Cq in m	Wq in m/s	Vq (m/s) in m	Dq in MW	Emission in [kg/a] NOx PM10	
06-09-600-0025-0001_2	4350605	5520239	70	0	0	0.0	0.0	13.00	3.60	57542.3	-
06-09-600-0025-0001_3	4350592	5520230	70	0	0	0.0	0.0	11.07	3.05	88356.8	-
06-09-600-0025-0002_4	4351292	5518608	42	0	0	0.0	0.0	6.67	1.01	436.7	-
06-09-600-0025-0003_5	4354172	5519540	20	0	0	0.0	0.0	9.15	0.90	1813.2	-
06-09-600-0025-0003_6	4354172	5519540	20	0	0	0.0	0.0	7.97	0.90	199.2	-
06-09-600-0026-0001_7	4355695	5519263	31	0	0	0.0	0.0	3.31	0.70	78.0	-
06-09-600-0026-0001_8	4355695	5519263	31	0	0	0.0	0.0	23.52	0.70	1046.8	-
06-09-600-0026-0001_9	4355716	5519275	80	0	0	0.0	0.0	10.27	1.78	19388.1	-
06-09-600-0026-0001_10	4355718	5519277	80	0	0	0.0	0.0	9.66	1.78	21446.9	-
06-09-600-0026-0001_11	4355714	5519273	80	0	0	0.0	0.0	14.00	1.78	53139.2	-
06-09-600-4040-0001_12	4352753	5513478	17	0	0	0.0	0.0	3.40	0.72	6156.1	-
06-09-600-4040-0001_13	4352753	5513478	17	0	0	0.0	0.0	3.40	0.72	5929.2	-
06-09-663-0001-0001_14	4347630	5520896	10	0	0	0.0	0.0	0.22	0.65	140.0	-
06-09-663-0001-0001_15	4347675	5520948	25	0	0	0.0	0.0	14.39	0.36	823.0	-
06-09-663-0001-0001_16	4347690	5520890	15	0	0	0.0	0.0	0.90	0.50	285.4	-
06-09-663-0001-0001_17	4347690	5520890	20	0	0	0.0	0.0	1.20	0.44	318.1	-
06-09-663-0001-0001_18	4347662	5520833	15	0	0	0.0	0.0	3.60	0.11	17.0	-
06-09-663-0001-0001_19	4347695	5520972	25	0	0	0.0	0.0	2.43	0.80	85.1	-
06-09-663-0001-0001_20	4347592	5520816	15	0	0	0.0	0.0	3.60	0.11	5.7	-
06-09-663-0011-0001_21	4348212	5521314	32	0	0	0.0	0.0	11.37	1.24	2686.9	-
06-09-663-0011-0001_22	4348212	5521314	10	0	0	0.0	0.0	2.35	0.25	79.2	-
06-09-663-0014-0001_23	4347578	5521272	16	0	0	0.0	0.0	4.30	0.34	6.0	-
06-09-663-0014-0001_24	4347594	5521176	13	0	0	0.0	0.0	6.72	0.60	229.7	-
06-09-663-0014-0001_25	4347593	5521168	11	0	0	0.0	0.0	6.55	1.31	8.5	-
06-09-663-0014-0001_26	4347537	5521346	19	0	0	0.0	0.0	3.63	0.70	324.0	-
06-09-663-0028-0001_27	4353150	5520203	58	2	2	58.0	0.0	0.00	0.00	14.5	-
06-09-663-0028-0001_28	4353150	5520203	58	0	0	0.0	0.0	0.53	2.26	7.2	-
06-09-663-0028-0001_29	4353150	5520203	58	2	2	58.0	0.0	0.00	0.00	2.2	-
06-09-663-0028-0001_30	4353150	5520203	58	0	0	0.0	0.0	0.14	2.26	4.6	-
06-09-663-0028-0001_31	4353150	5520203	58	0	0	0.0	0.0	0.37	2.26	1040.4	-
06-09-663-0028-0001_32	4353150	5520203	58	0	0	0.0	0.0	0.27	2.26	2659.2	-
06-09-663-0028-0001_33	4353150	5520203	58	0	0	0.0	0.0	0.39	2.26	761.0	-
06-09-663-0028-0001_34	4353150	5520203	58	0	0	0.0	0.0	0.13	2.26	677.4	-
06-09-663-0028-0001_35	4353150	5520203	58	0	0	0.0	0.0	1.40	2.26	3528.4	-
06-09-663-0028-0001_36	4353150	5520203	58	0	0	0.0	0.0	1.41	2.26	4348.1	-
06-09-663-0030-0001_37	4351653	5516311	50	0	0	0.0	0.0	2.69	1.50	7724.3	-
06-09-663-4096-0001_38	4356088	5520055	10	0	0	0.0	0.0	8.48	0.60	93.0	-
06-09-663-4096-0001_39	4356088	5520055	10	0	0	0.0	0.0	9.55	0.49	66.0	-
06-09-663-4098-0001_40	4348600	5519900	17	0	0	0.0	0.0	15.53	0.30	5592.1	-
06-09-600-0025-0001_2	4350605	5520239	70	0	0	0.0	0.0	13.00	3.60	-	140.5
06-09-600-0025-0001_3	4350592	5520230	70	0	0	0.0	0.0	11.07	3.05	-	225.7
06-09-600-0025-0002_4	4351292	5518608	42	0	0	0.0	0.0	6.67	1.01	-	1.0
06-09-600-0025-0003_5	4354172	5519540	20	0	0	0.0	0.0	9.15	0.90	-	4.3
06-09-600-0025-0003_6	4354172	5519540	20	0	0	0.0	0.0	7.97	0.90	-	5.8
06-09-600-0026-0001_7	4355668	5519319	27	0	0	0.0	0.0	4.70	1.78	-	0.0
06-09-600-0026-0001_8	4355668	5519319	8	0	0	0.0	0.0	3.74	1.64	-	61.5
06-09-600-0026-0001_9	4355695	5519263	31	0	0	0.0	0.0	1.12	0.70	-	1.1
06-09-600-0026-0001_10	4355695	5519263	31	0	0	0.0	0.0	1.08	0.70	-	0.0
06-09-600-0026-0001_11	4355695	5519263	31	0	0	0.0	0.0	1.12	0.70	-	0.9
06-09-600-0026-0001_12	4355695	5519263	31	0	0	0.0	0.0	23.52	0.70	-	11.1
06-09-600-0026-0001_13	4355716	5519275	80	0	0	0.0	0.0	10.27	1.78	-	350.9
06-09-600-0026-0001_14	4355718	5519277	80	0	0	0.0	0.0	9.66	1.78	-	167.8
06-09-600-0026-0001_15	4355714	5519273	80	0	0	0.0	0.0	14.00	1.78	-	294.0
06-09-600-4040-0001_16	4352753	5513478	17	0	0	0.0	0.0	3.40	0.72	-	3.0
06-09-600-4040-0001_17	4352753	5513478	17	0	0	0.0	0.0	3.40	0.72	-	2.9
06-09-663-0001-0001_18	4347593	5520945	10	0	0	0.0	0.0	17.98	0.50	-	4.8
06-09-663-0001-0001_19	4347584	5520942	10	0	0	0.0	0.0	5.13	0.92	-	4.5
06-09-663-0001-0001_20	4347669	5520975	12	0	0	0.0	0.0	0.21	1.90	-	2.0
06-09-663-0001-0001_21	4347630	5520896	10	0	0	0.0	0.0	0.22	0.65	-	4.1
06-09-663-0001-0001_22	4347675	5520948	25	0	0	0.0	0.0	14.39	0.36	-	23.9
06-09-663-0001-0001_23	4347674	5520922	7	0	0	0.0	0.0	6.87	0.80	-	29.1
06-09-663-0001-0001_24	4347674	5520922	8	0	0	0.0	0.0	4.66	1.41	-	30.7
06-09-663-0001-0001_25	4347674	5520922	9	0	0	0.0	0.0	12.63	1.14	-	55.0
06-09-663-0001-0001_26	4347690	5520890	20	0	0	0.0	0.0	8.59	0.90	-	11.6
06-09-663-0001-0001_27	4347690	5520890	20	0	0	0.0	0.0	8.61	0.90	-	11.6
06-09-663-0001-0001_28	4347690	5520890	20	0	0	0.0	0.0	6.48	0.80	-	13.6
06-09-663-0001-0001_29	4347690	5520890	20	0	0	0.0	0.0	12.86	0.44	-	4.1
06-09-663-0001-0001_30	4347690	5520890	20	0	0	0.0	0.0	12.56	0.44	-	4.0
06-09-663-0001-0001_31	4347662	5520833	15	0	0	0.0	0.0	3.60	0.11	-	0.5
06-09-663-0001-0001_32	4347592	5520816	15	0	0	0.0	0.0	3.60	0.11	-	0.2
06-09-663-0003-0002_33	4348477	5520242	1	6	6	0.5	0.0	0.00	0.00	-	4.5
06-09-663-0003-0003_34	4347431	5520968	1	7	7	0.5	0.0	0.00	0.00	-	27.0
06-09-663-0011-0001_35	4348212	5521314	32	0	0	0.0	0.0	11.37	1.24	-	21.7
06-09-663-0011-0001_36	4348212	5521314	4	7	7	4.0	0.0	0.00	0.00	-	8662.0
06-09-663-0011-0001_37	4348212	5521314	1	0	0	0.0	0.0	0.66	0.36	-	0.0
06-09-663-0011-0001_38	4348212	5521314	3	4	4	3.0	0.0	0.00	0.00	-	119.0
06-09-663-0014-0001_39	4347578	5521272	16	0	0	0.0	0.0	4.30	0.34	-	0.0
06-09-663-0014-0001_40	4347594	5521176	13	0	0	0.0	0.0	6.72	0.60	-	0.5
06-09-663-0014-0001_41	4347541	5521361	25	0	0	0.0	0.0	8.34	1.60	-	710.2
06-09-663-0014-0001_42	4347545	5521349	25	0	0	0.0	0.0	6.66	0.95	-	56.2
06-09-663-0014-0001_43	4347594	5521219	19	0	0	0.0	0.0	8.44	0.84	-	55.8
06-09-663-0014-0001_44	4347594	5521219	19	0	0	0.0	0.0	14.32	0.84	-	107.9
06-09-663-0014-0001_45	4347560	5521282	25	0	0	0.0	0.0	11.08	0.85	-	192.2
06-09-663-0014-0001_46	4347583	5521220	25	0	0	0.0	0.0	10.02	1.60	-	2691.0
06-09-663-0014-0001_47	4347593	5521168	11	0	0	0.0	0.0	6.55	1.31	-	104.0
06-09-663-0014-0001_48	4347593	5521168	11	0	0	0.0	0.0	6.55	1.31	-	5.4
06-09-663-0014-0001_49	4347516	5521326	19	0	0	0.0	0.0	28.17	0.40	-	96.5
06-09-663-0014-0001_50	4347516	5521326	19	0	0	0.0	0.0	4.62	0.40	-	15.8
06-09-663-0028-0001_51	4353150	5520203	58	2	2	58.0	0.0	0.00	0.00	-	1.1
06-09-663-0028-0001_52	4353150	5520203	58	2	2	58.0	0.0	0.00	0.00	-	47.0
06-09-663-0044-0001_53	4348178	5520342	0	6	6	0.1	0.0	0.00	0.00	-	500.0
06-09-663-0046-0001_54	4348003	5520319	5	2	2	5.0	0.0	0.00	0.00	-	3.3
06-09-663-0046-0001_55	4347982	5520289	1	3	3	0.5	0.0	0.00	0.00	-	1.4
06-09-663-0046-0001_56	4347982	5520289	1	3	3	0.5	0.0	0.00	0.00	-	18.7
06-09-663-0046-0001_57	4347987	5520395	18	2	2	18.0	0.0	0.00	0.00	-	0.1
06-09-663-0046-0001_58	4348015	5520310	1	5	5	0.5	0.0	0.00	0.00	-	1.9
06-09-663-0046-0001_59	4348015	5520293	1	26	26	0.5	0.0	0.00	0.00	-	0.2
06-09-663-0046-0001_60	4348015	5520293	1	26	26	0.5	0.0	0.00	0.00	-	0.5
06-09-663-0046-0001_61	4348015	5520293	1	26</							

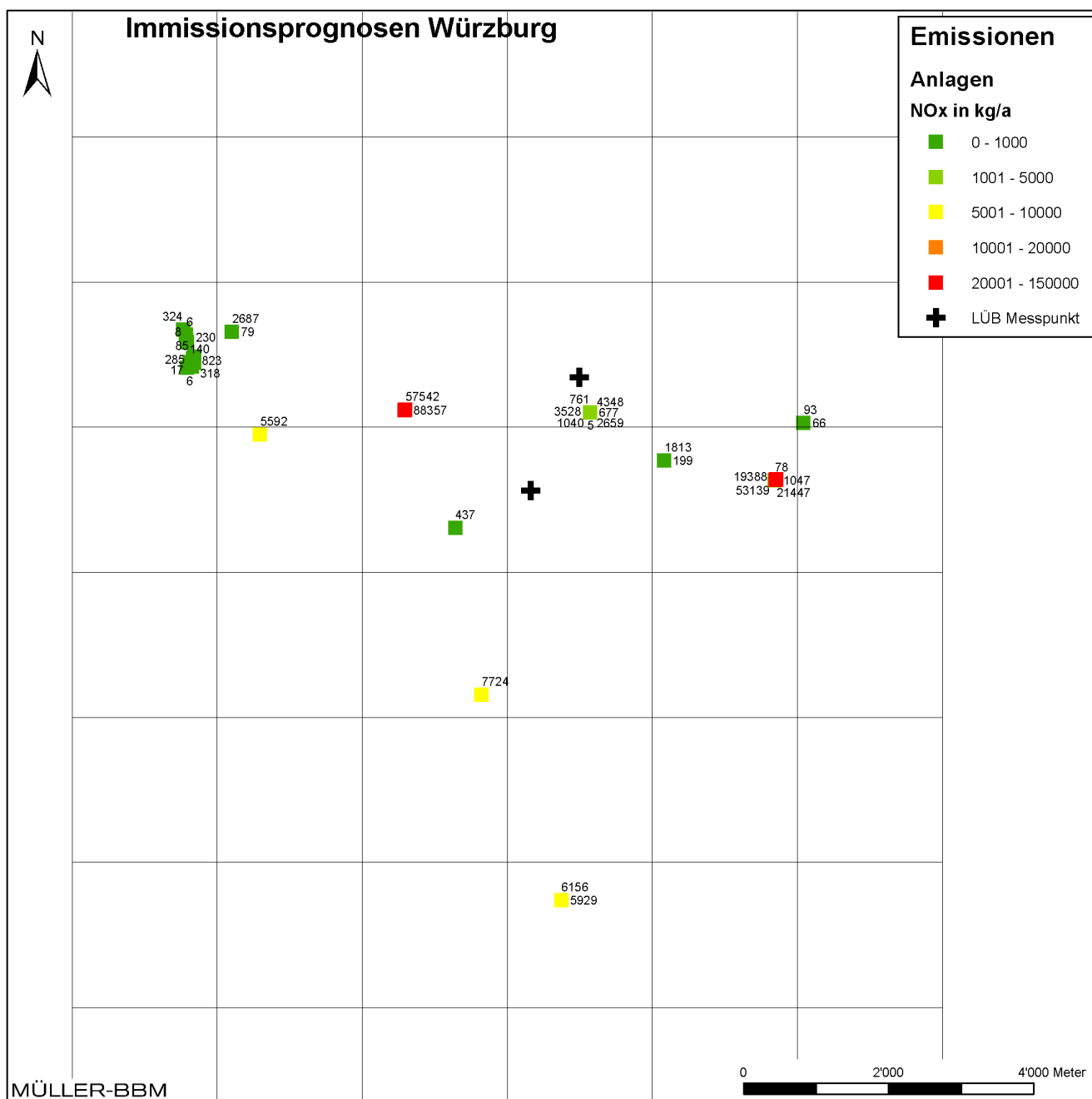


Abbildung 12. NO_x-Emissionen genehmigungspflichtiger Anlagen Würzburg 2012 [23].

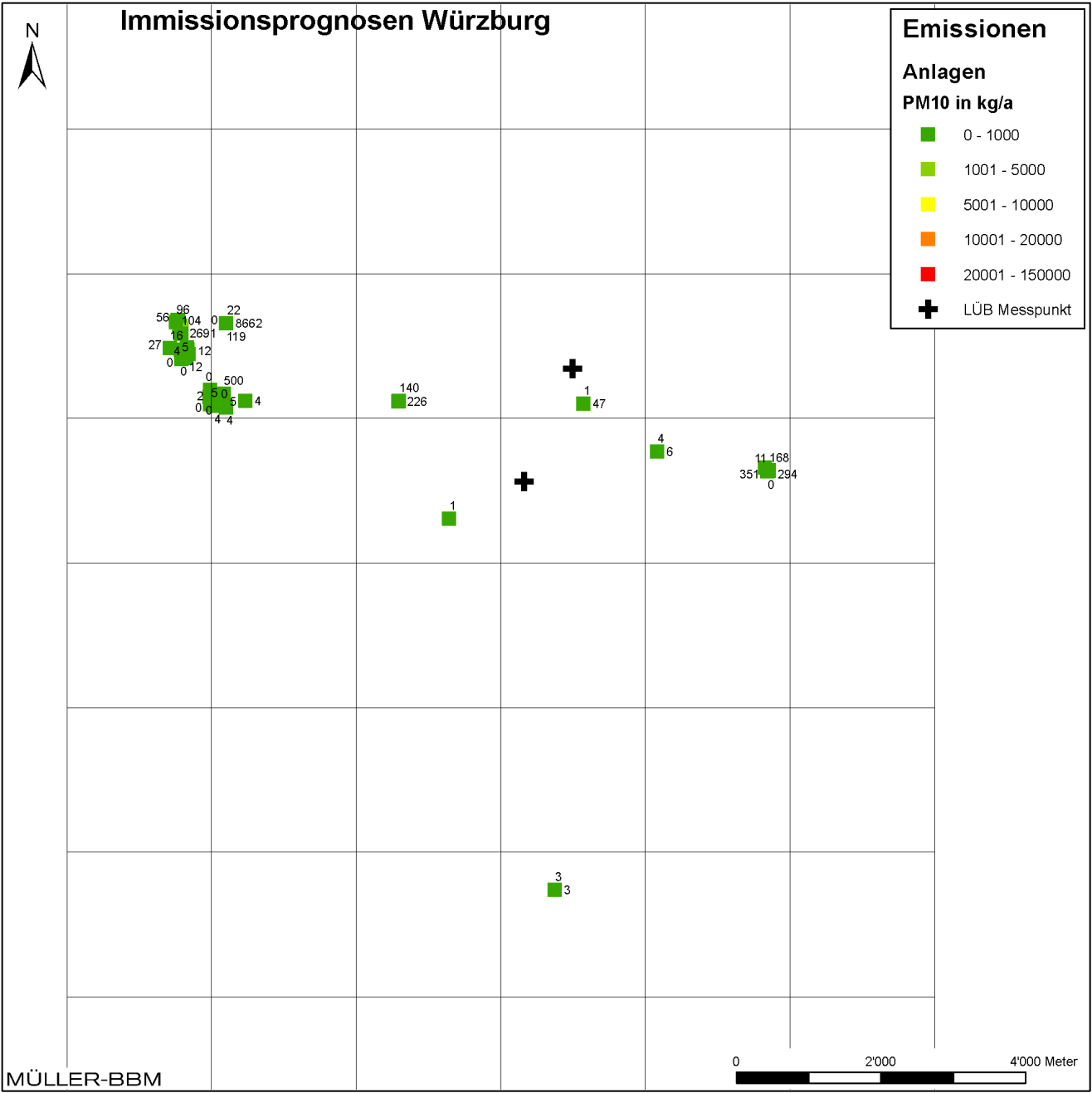


Abbildung 13. PM₁₀--Emissionen genehmigungspflichtiger Anlagen Würzburg 2012 [23].

B Emissionsdaten aus dem Emissionskataster 2004

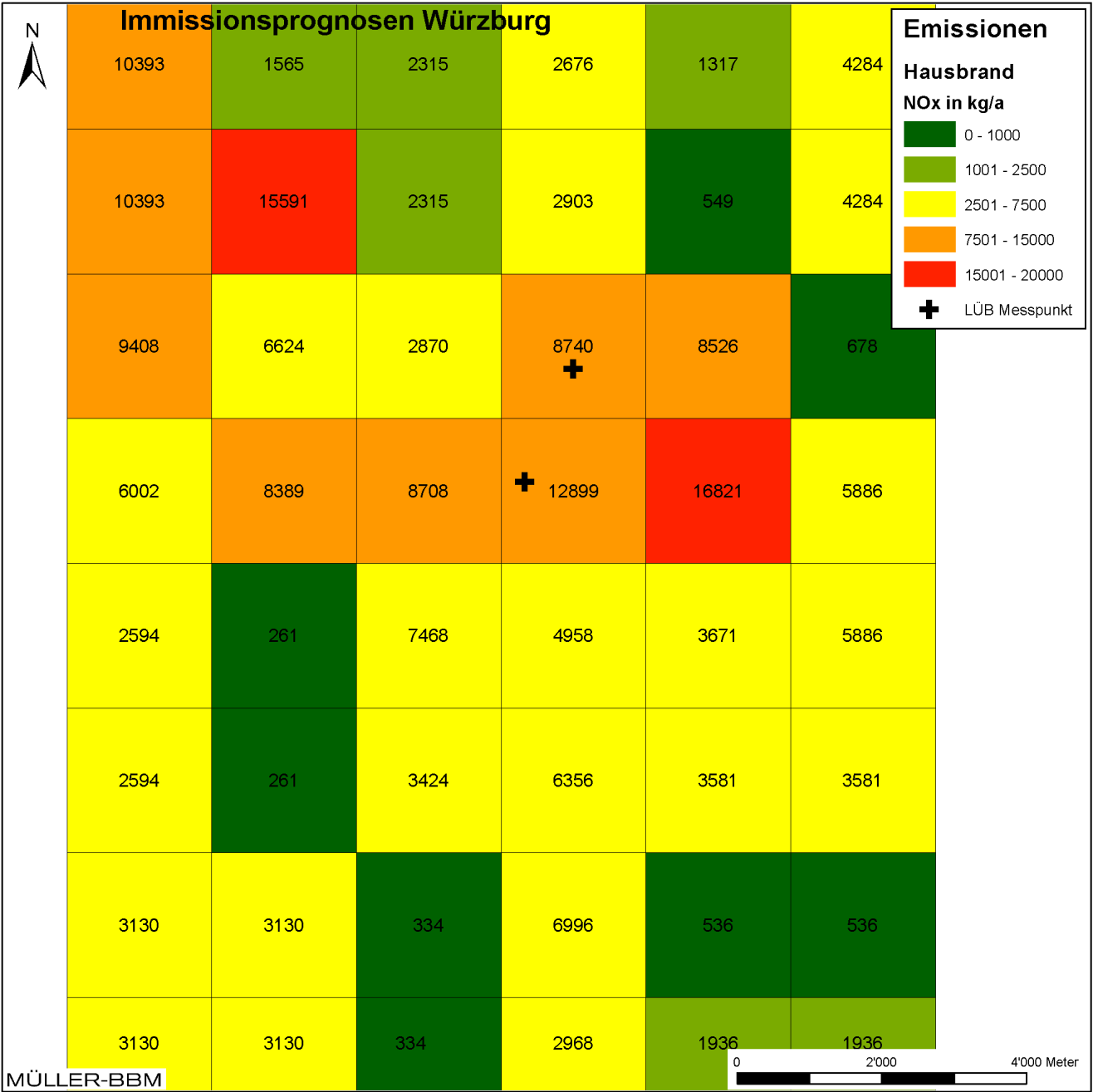


Abbildung 14. NO_x-Emissionen Hausbrand – Emissionskataster Bayern 2004 [6] [23].

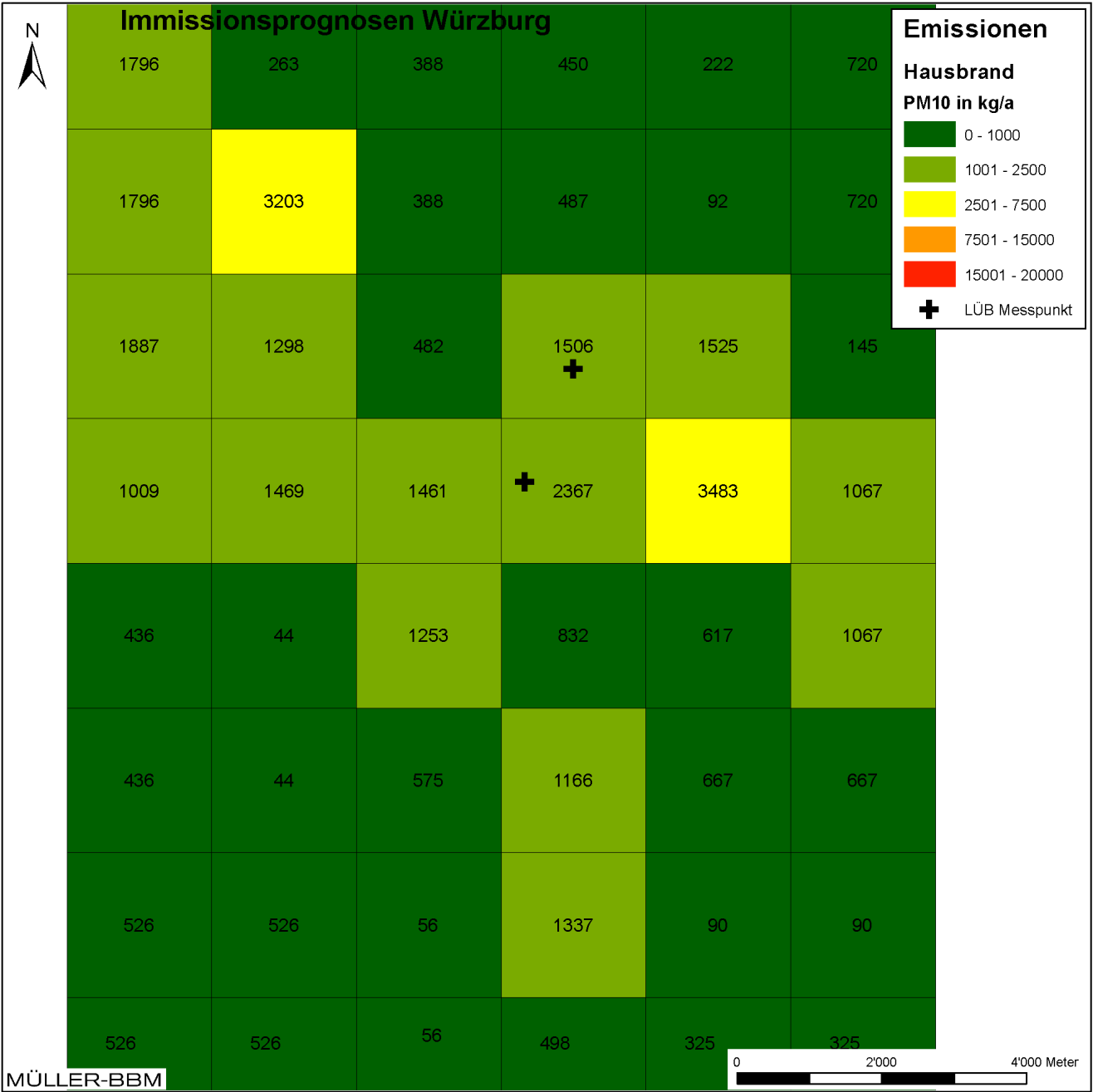


Abbildung 15. PM₁₀-Emissionen Hausbrand – Emissionskataster Bayern 2004 [6] [23].

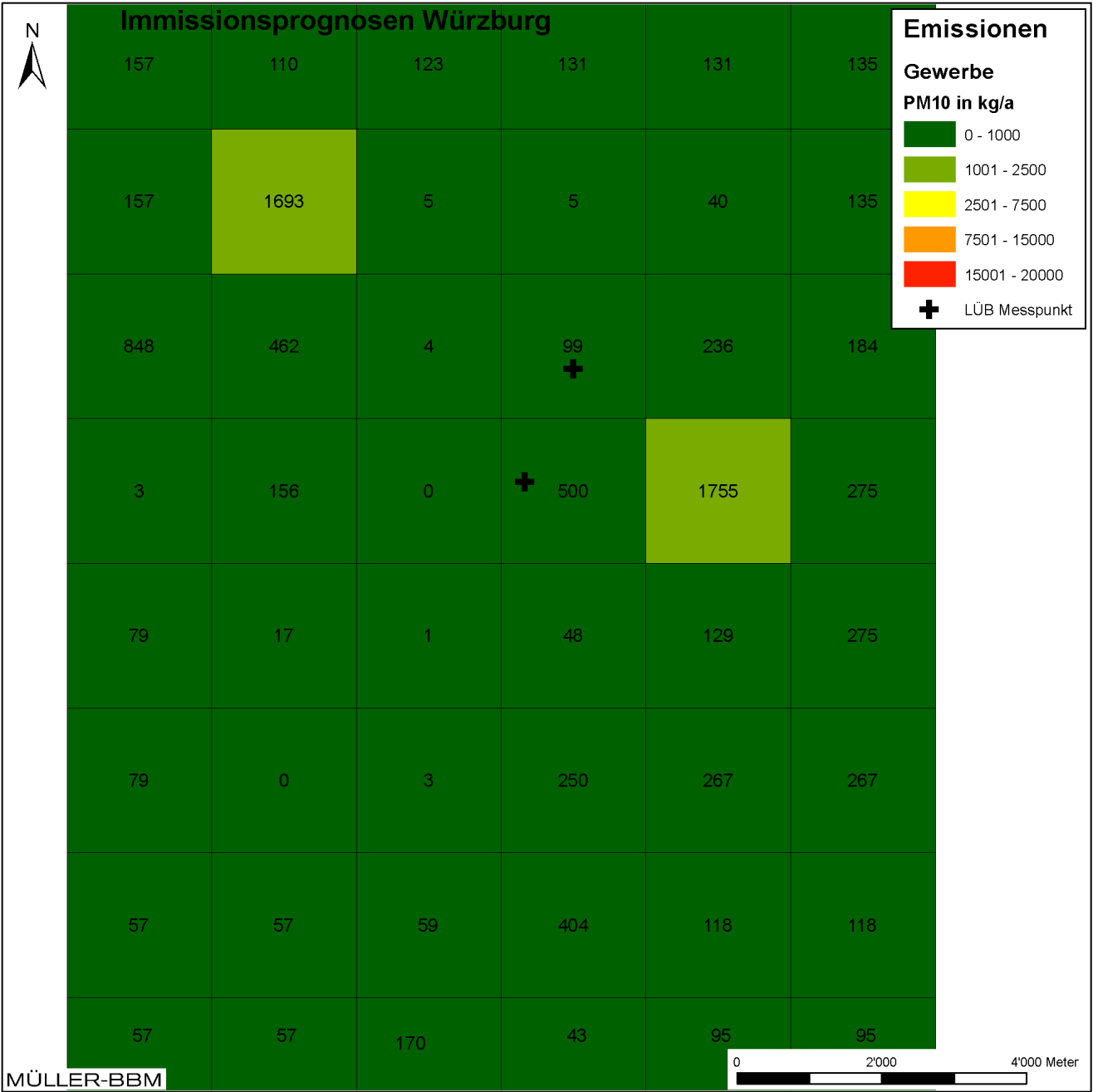


Abbildung 16. PM₁₀-Emissionen Gewerbe – Emissionskataster Bayern 2004 [6] [23].

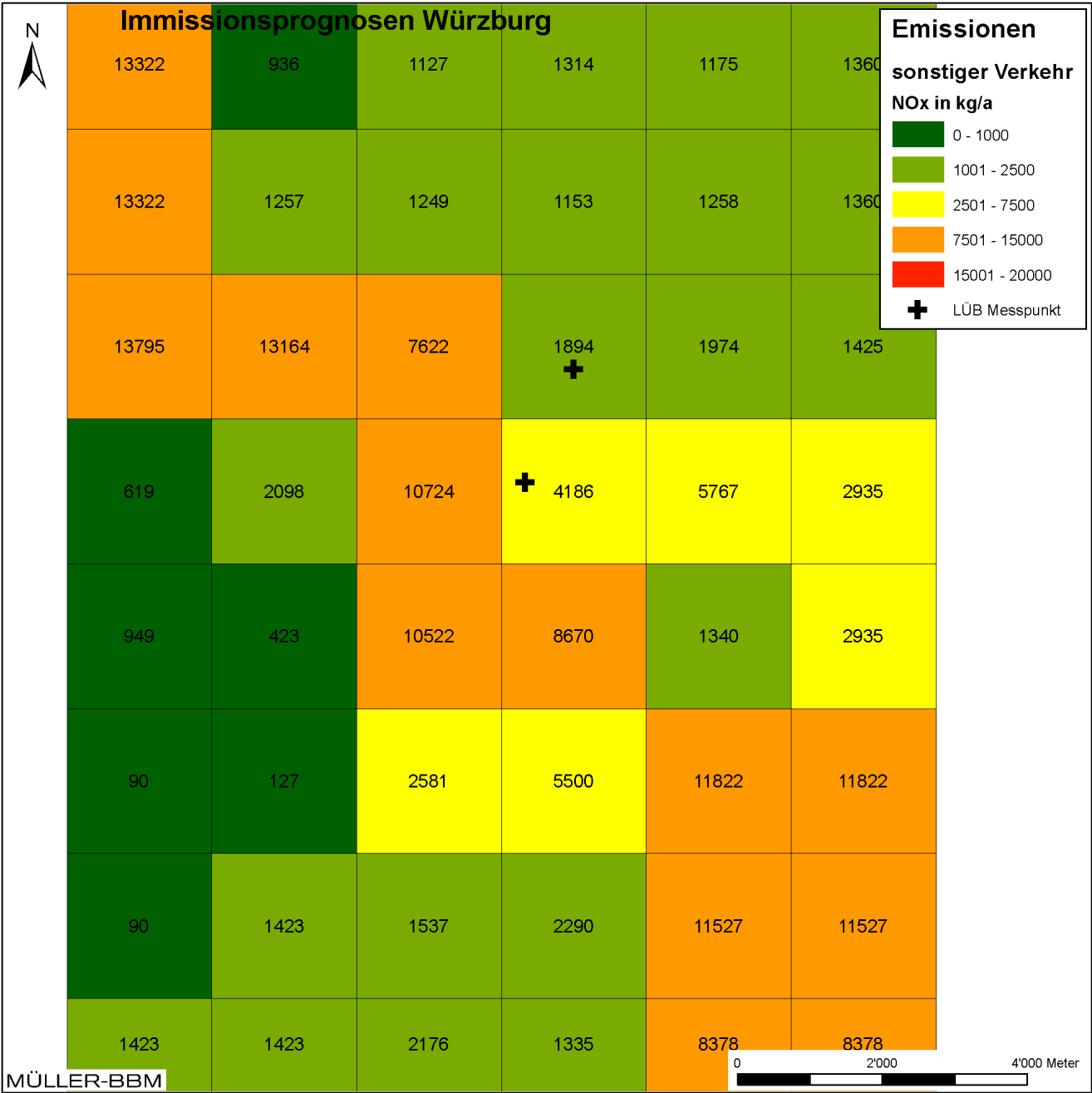


Abbildung 17. NO_x-Emissionen Sonstiger Verkehr – Emissionskataster Bayern 2004 [6] [23].

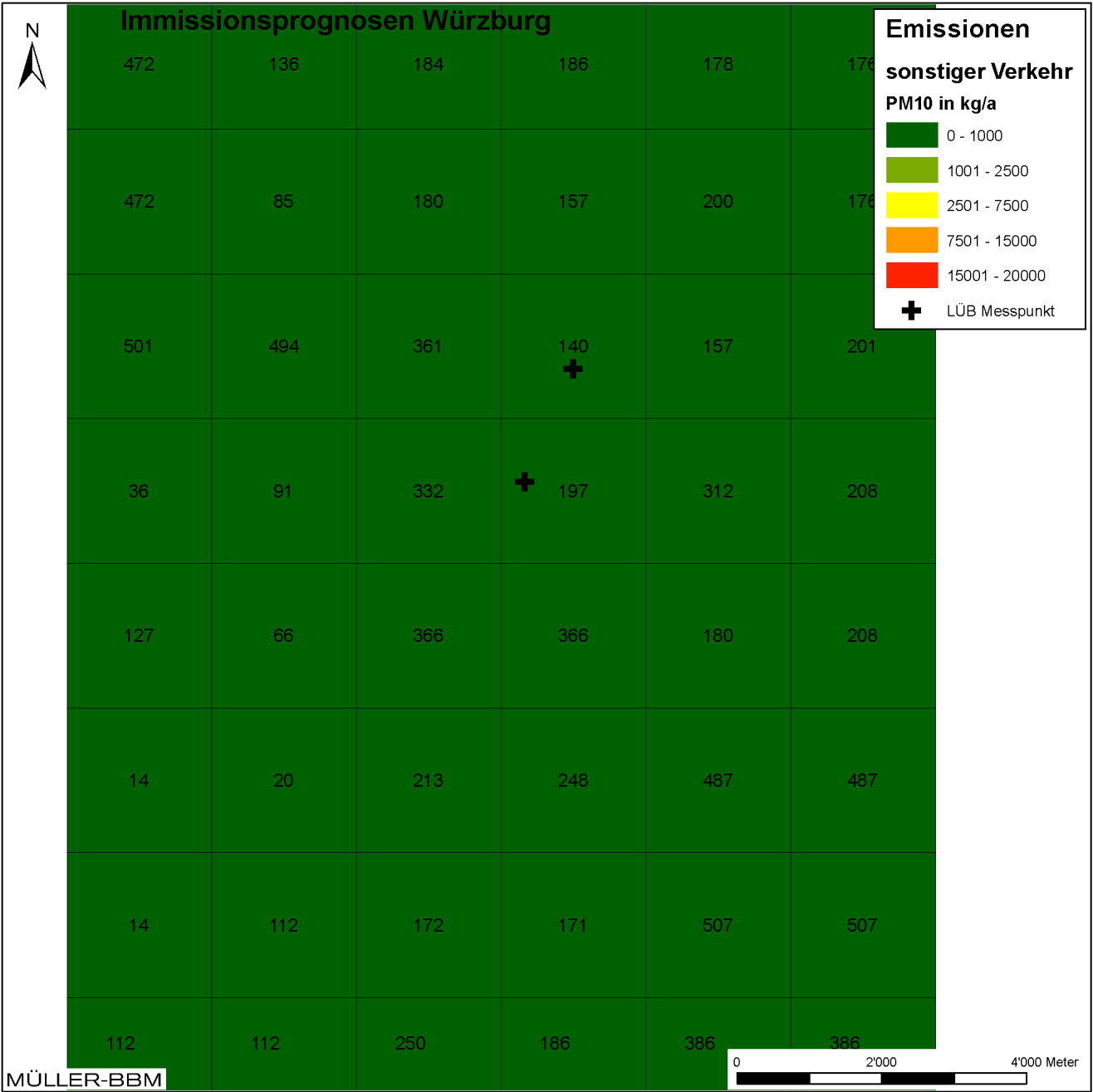


Abbildung 18. PM₁₀-Emissionen Sonstiger Verkehr – Emissionskataster Bayern 2004 [6] [23].