

BERICHTTITEL

Immissionskataster der Stadt Salzburg für die Luftschadstoffe NO_x/NO₂

AUFTRAGGEBER

Land Salzburg
Abteilung 5: Natur- und Umweltschutz, Gewerbe
Referat 5/03: Chemie, Abfall- und Umwelttechnik
Michael-Pacher-Straße 36
A-5020 Salzburg

BERICHT-NR.

I-20/25/CSc V&U Inst-23/024/630

VERSION

1.0

DATUM

13.08.2025

KONTROLLBLATT

Ansprechperson: MSc. Carina Schlamberger
Telefon direkt: +43 (0)316 873 – 30212
E-Mail: carina.schlamberger@ivt.tugraz.at

FREIGABE

_____ am 13.08.2025
Dr. Michael Bacher

DOKUMENTHISTORIE

Version	Datum	Bearbeiter	Prüfer	Änderung
V0.1	18.03.2025	CSc	MSc	Ursprungsdokument - Vorabzug
V0.2	15.04.2025	CSc	MSc	Anpassung Immissionberechnung Tunnelportale
V0.3	09.07.2025	CSc	MSc	Einarbeitung – Anmerkungen zu V0.2
V0.4	06.08.2025	CSc	MSc	Einarbeitung – Anmerkungen zu V0.3
V1.0	13.08.2025	CSc	MSc	Einarbeitung – Anmerkungen zu V0.4 Erstellung des Dokuments

RECHTSHINWEIS

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen und Hinzufügen, veröffentlicht werden. Sollte er auszugsweise abgedruckt oder vervielfältigt werden, so ist vorher die schriftliche Genehmigung der Ersteller einzuholen.

INSTITUT FÜR THERMODYNAMIK UND NACHHALTIGE ANTRIEBSSYSTEME

Inffeldgasse 19, A-8010 Graz
Telefon: +43 (0)316 873 – 30201
Fax: +43 (0)316 873 – 30202
E-Mail: vuu@ivt.tugraz.at
Web: www.itna.at



Forschungsbereich
Verkehr und
Umwelt



ISO 9001 zertifiziert

Bankverbindung: UniCredit Bank Austria AG
BIC: BKAUATWW, IBAN: AT691200051656101802

Firmenbuchgericht: Landesgericht für Zivilrechtsachen Graz
UID: ATU55382605

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	5
2	Aufgabenstellung	7
3	Untersuchungsraum	8
4	Untersuchungsmethodik.....	9
4.1	Gebäudedaten.....	9
4.2	Methodik Emissionen	9
4.2.1	Punktquellen	10
4.2.2	Linienquellen	10
4.2.3	Flächenquellen.....	10
4.2.4	Ganglinien der Emissionen	11
4.3	Methodik Immissionen.....	13
4.3.1	Grenzwerte	13
4.3.2	Berechnung der Immissionsbelastungen.....	14
4.3.3	Berechnung der Gesamtbelastungen	14
4.3.4	NO-NO ₂ -Umwandlung.....	14
4.3.5	Berechnung des maximalen Halbstundenmittelwertes von NO ₂	15
4.3.6	Eingangsparameter	16
4.3.7	Zeitliche und räumliche Auflösung	17
4.3.8	Gebäudeumströmung.....	17
5	Beschreibung der Eingangsdaten.....	18
5.1	Meteorologie.....	18
5.2	Luftgüte	21
5.2.1	Kontinuierliche Messstationen.....	21
5.2.2	Ergebnisse der Messungen mit Passivsammler	23
5.2.3	Vorbelastung.....	25
5.3	Emissionen.....	25
6	Simulationen	29
6.1	Strömungsmodellierung.....	29
6.2	Jahresmittelwert Stickstoffoxid (NO _x)	31
6.2.1	Simulationsergebnisse	31
6.2.2	Vergleich mit Messdaten	37
6.2.3	Quellgruppenanteile	38
6.3	Jahresmittelwert Stickstoffdioxid (NO ₂)	42
6.3.1	Simulationsergebnisse	42
6.3.2	Vergleich mit Messdaten	43
6.3.3	Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen	45
6.4	Maximaler Tagesmittelwert an NO _x	46
6.4.1	Simulationsergebnisse	46
6.4.2	Vergleich mit Messdaten	47

6.5	Maximaler Halbstundenmittelwert an NO ₂	48
6.5.1	Simulationsergebnisse	48
6.5.2	Vergleich mit Messdaten	49
6.5.3	Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen	50
7	<i>Unsicherheiten bei der Modellierung</i>	51
8	<i>Literaturverzeichnis</i>	53
9	<i>Abbildungsverzeichnis</i>	54
10	<i>Tabellenverzeichnis</i>	57
11	<i>Anhang</i>	58
11.1	Parameter für die Ausbreitungsmodellierung	58

1 Zusammenfassung

Inhalt dieser Studie ist die Erstellung eines Immissionskatasters für das Modellgebiet Salzburg Stadt. Dazu wird das am Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme entwickelte Modellsystem GRAMM/GRAL verwendet.

Der Untersuchungsraum von 7,5 km x 7,5 km umfasst Teile des das Salzburger Stadtgebiets und umliegender Gemeinden. Die Windfeldmodellierung wurde für ein Gebiet mit einer Fläche von 23 km x 42 km durchgeführt.

Für die Modellierung der Strömungsfelder wurde auf das bestehende Windfeld aus den Untersuchungen im Jahr 2014 zurückgegriffen. Die Daten des Emissionskatasters Salzburg beziehen sich auf das Referenzjahr 2022. Das verwendete Modellsystem ermöglicht die Integration von Punkt-, Linien-, und Flächenquellen. Insgesamt wurden für neun verschiedene Quellgruppen die Konzentrationsfelder berechnet. Zur Berechnung der NO₂-Konzentrationen wurde die Rombergfunktion, angepasst an österreichische Messdaten verwendet.

Bei der Messstation Mirabellplatz ergibt sich für den Jahresmittelwert an NO_x eine relativ gute Übereinstimmung zwischen Messung und Simulation. Der Vergleich zeigt, dass es beim Rudolfsplatz und bei der Station Lehener Park zu einer Überschätzung durch das Modell kommt. Bei der Station Salzburg Autobahn A1 kommt es zu einer leichten Unterschätzung.

Bei den Stationen Mirabellplatz, Lehener Park und Salzburg Autobahn A1 ergibt sich ebenfalls eine gute Übereinstimmung für den Jahresmittelwert an NO₂. Dabei werden hier die gemessenen NO₂-Werte mit den modellierten NO₂-Werten verglichen. Letztere wurden mit Hilfe der Rombergfunktion konvertiert. Bei der Messstation Rudolfsplatz kommt es zu einer leichten Überschätzung durch das Modell.

Auch für den maximalen Halbstundenmittelwert an NO₂ ergibt sich für alle vier Messstationen eine Überschätzung im Vergleich mit den Messdaten.

Grundsätzlich muss bei dieser Art der Auswertung – dem Vergleich zwischen Messung und Simulation – die genaue Position der Emissionen und der Messstationen berücksichtigt werden. So z.B. beim Rudolfsplatz, wo die Luftgütemessstation in Mitten des starkfrequentierten Kreisverkehrs steht. Auch verschiedenste Einflüsse der Modellierung z.B. die horizontale Auflösung führen zu gewissen Unsicherheiten, die es zu beachten gilt. Allgemein wird darauf hingewiesen, dass bei der Simulation eines Immissionskatasters versucht wird, einen „Erwartungswert“ so realistisch wie möglich wiederzugeben. Auf Basis der Modellierung im Untersuchungsgebiet Stadt Salzburg und Umgebung kann gezeigt werden, dass nur im Fahrbahnbereich von Autobahn und innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen Werte über den Grenzwerten für den Jahresmittelwert und den maximalen Halbstundenmittelwert gemäß Immissionsschutzgesetz Luft modelliert werden.

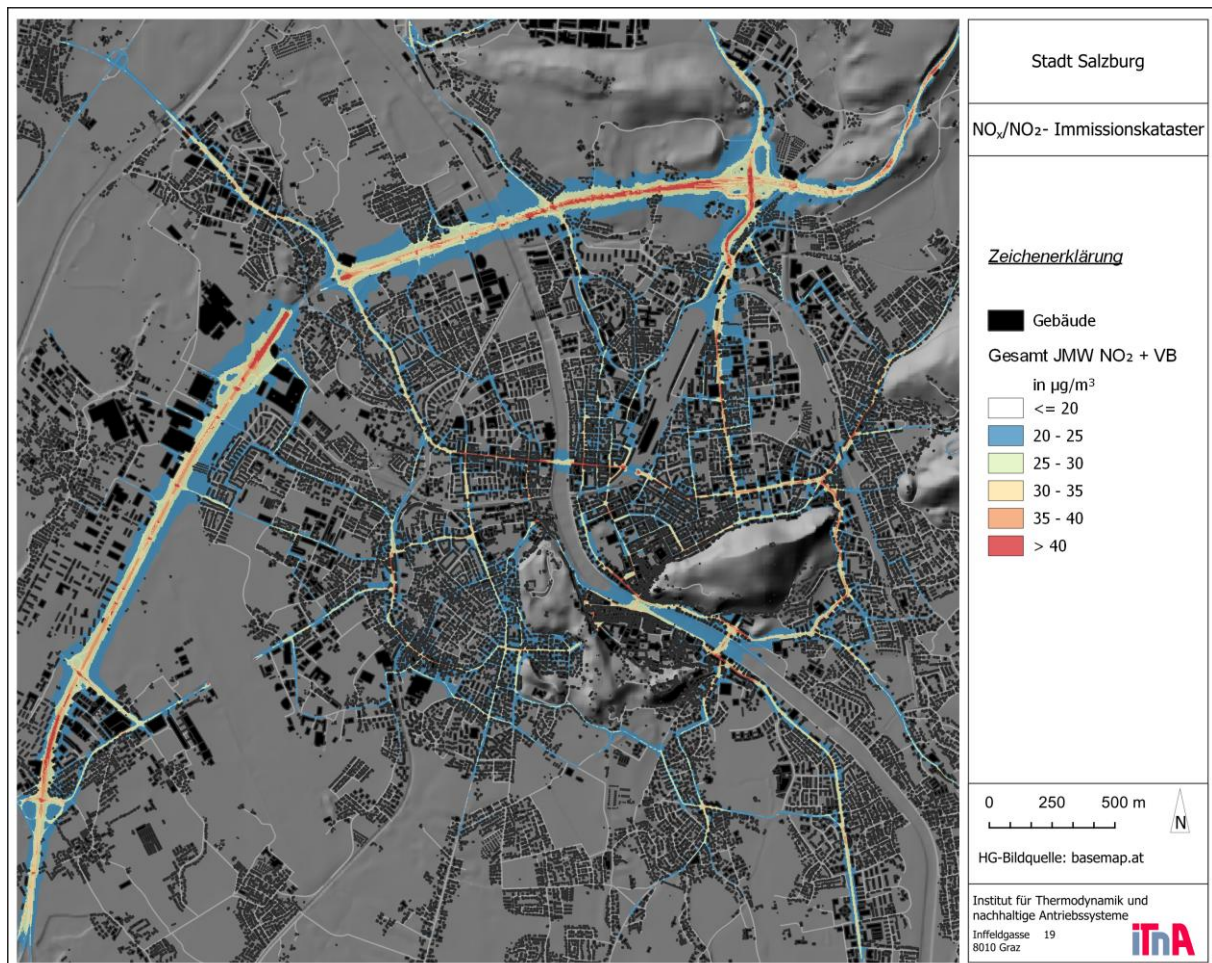


Abbildung 1: Modellierter NO₂-Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung

2 Aufgabenstellung

Inhalt dieser Studie ist die Erstellung eines Immissionskatasters für das Modellgebiet Salzburg Stadt. Bereits im Jahr 2014 wurde ein NO_x/NO₂-Immissionskataster für das Stadtgebiet Salzburg erstellt [1]. Bezugsjahr für die Emissionen war 2010. Für eine Aktualisierung auf das Bezugsjahr 2015 wurden in erster Linie die Emissionen des Straßenverkehrs neu berechnet.

In dieser Studie soll eine Neuberechnung mit selbiger methodischer Vorgehensweise und aktuellen Emissionsdaten erfolgen. Dazu wird das am Institut für Thermodynamik und nachhaltige Antriebssysteme entwickelte Modellsystem GRAMM/GRAL verwendet. Dieses setzt sich aus dem prognostischen Windfeldmodell GRAMM (Grazer Mesoskaliges Modell) und dem Lagrange'schen Partikelmodell GRAL (Grazer Lagrange Modell) zusammen. Dieses Modellsystem entspricht dem Stand der Technik und wird den besonderen Ansprüchen bei Simulationen im komplexen Gelände und bei windschwachen Wetterlagen gerecht. Das verwendete Modellsystem ermöglicht die Integration von Punkt-, Linien- und Flächenquellen sowie Tunnelportalen.

Für die Modellierung des Windfelds wurde auf das bereits im Jahr 2014 erstellte Windfeld zurückgegriffen. Dieses basierte auf Daten des meteorologischen Jahres 2010. Die erforderlichen Eingangsdaten wurden vom Amt der Salzburger Landesregierung bereitgestellt und von der Regionalstelle Salzburg der Geosphere Austria (ehemals ZAMG) überprüft. Bei der Auswahl des Bezugsjahres wurde darauf geachtet, ein meteorologisch repräsentatives Jahr zu wählen. Auf Grundlage dieser Messdaten erfolgte die Initialisierung und Validierung des Windfeldmodells. Für die Validierung der Ausbreitungsrechnungen und Ermittlung der Vorbelastungen werden amtliche Luftgütemessungen des Landes Salzburg für das Jahr 2022 herangezogen. Die verwendeten Emissionsdaten sämtlicher Quellen für das Bezugsjahr 2022 wurden vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt.

Anhand des Modellsystems werden flächendeckende Konzentrationsfelder für den nach IG-L begrenzten Luftschadstoff NO₂ berechnet. Das Hauptaugenmerk wird dabei auf den Jahresmittelwert gelegt. Zuerst werden die Immissionsbelastungen für NO_x inert berechnet und anschließend die Umwandlung von NO zu NO₂ mit Hilfe der Rombergfunktion [2] ermittelt. Die Simulationen werden mit einer zeitlichen Auflösung von 30 Minuten durchgeführt. Für das Gebiet Salzburg Stadt beträgt die räumliche Auflösung 5 m x 5 m für die Punktquellen, Flächenquellen und Linienquellen, sowie Tunnelportale.

3 Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum umfasst Teile des Salzburger Stadtgebiets sowie Teile der angrenzenden Gemeinden mit einer Ausdehnung von 56,3 km². Die Ausbreitungsrechnung wurde für ein Gebiet mit einer Größe von 7,5 km x 7,5 km (siehe Abbildung 2) durchgeführt. Die Windfeldmodellierung wurde für ein Gebiet mit einer Fläche von 23 km x 42 km durchgeführt (siehe Abbildung 3).



Abbildung 2: Untersuchungsraum für den Immissionskataster Salzburg Stadt und umliegender Gemeinden

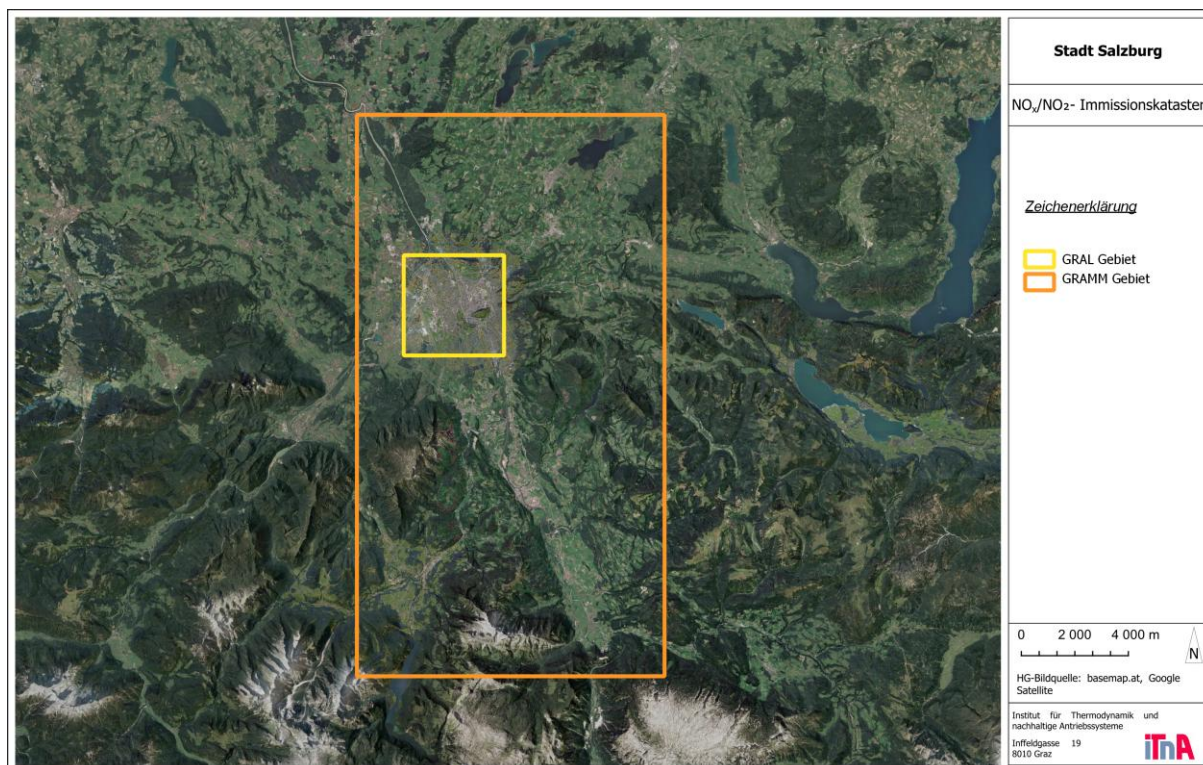


Abbildung 3: Übersicht von GRAMM- und GRAL-Gebiet für den Immissionskataster Salzburg

4 Untersuchungsmethodik

4.1 Gebäudedaten

Die vorhandenen Gebäudedaten aus dem Altbestand wurden entsprechend mit neuen DKM und OSM Daten aktualisiert. Die fehlenden Höhen wurden durch die Differenz aus digitalem Oberflächenmodell (DOM) und digitalem Geländemodell (DGM) errechnet.

4.2 Methodik Emissionen

Sämtliche Eingangsdaten wurden vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt und umfassen ein deutlich größeres Gebiet als das definierte Untersuchungsgebiet in Abbildung 2. In der Ausbreitungsrechnung werden allerdings nur die Emissionen verwendet, die sich innerhalb des Untersuchungsraumes befinden. Alle übermittelten Emissionsdaten beziehen sich auf das Bezugsjahr 2022. Als Basis für die Ausbreitungsrechnungen müssen die verschiedenen Schadstoffemittenten charakterisiert werden. Für das Gebiet werden folgende, unterschiedliche Quelltypen aus dem Emissionskataster Salzburg erfasst:

- Punktquellen: Verbrennungsemissionen, die Kaminen zugeordnet werden können
- Linienquellen: Verkehrsemissionen
- Flächenquellen: Emissionen von Haushalten, Offroad und Flächenverkehr.

Eine Übersicht der Emissionsdaten befindet sich in Kapitel 5.3.

4.2.1 Punktquellen

Für das Untersuchungsgebiet wurden 14 Kamine als Punktquellen erfasst. Neben den NO_x-Emissionen sind für die Ausbreitungsrechnungen zusätzliche Abluftparameter (Koordinaten, Austrittsgeschwindigkeit, Durchmesser, Austrittstemperatur, Kaminhöhe) notwendig. Sämtliche Eingangsdaten wurden vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt. Die in Summe 14 Kamine wurden in zwei Quellgruppen zusammengefasst.

Quellgruppe 1 – kontinuierliche Prozesswärme:

Salzburgmilch Werk 1, Kaendl Wals, Stieglbrauerei Salzburg

Quellgruppe 2 - Wärmeversorgung:

Heizkraftwerk Mitte, Heizwerk Nord, LKA St. Johannis Spital, Heizwerk Siezenheim und Heizwerk Schwarzenbergkaserne

4.2.2 Linienquellen

Die Verkehrsemissionen wurden auf Basis der Verkehrsdaten der ASFINAG und der Stadt Salzburg vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung für vier Quellgruppen zur Verfügung gestellt. Für die Ausbreitungsrechnung wurde neben den Emissionen auch die Straßenbreite berücksichtigt, was letztendlich die Linienquelle ebenfalls in eine Flächenquelle umwandelt und somit die Straßenausdehnung detaillierter widerspiegelt. Emissionen von Tunnelstrecken wurden nur über die dazugehörigen Tunnelportale freigesetzt. Bei einem Tunnel, der im Richtungsverkehr geführt wird, werden die gesamten Emissionen des Tunnels über das Ausfahrtsportal emittiert.

Quellgruppe 3: PKW, IO+AO

Emissionen von PKWs, Innerorts und Außerorts

Quellgruppe 4: LKW, IO+AO

Emissionen von LKWs, Innerorts und Außerorts

Quellgruppe 5: PKW, AB

Emissionen von PKWs, Autobahn

Quellgruppe 6: LKW, AB

Emissionen von LKWs, Autobahn

4.2.3 Flächenquellen

Die den Flächenquellen zugeordneten Emissionen entstehen u.a. dezentral in einer Vielzahl kleiner Einzelquellen (z. B. Heizungen in Wohngebäuden oder Kleingewerbe), bzw. bei mobilen Arbeitsmaschinen typischerweise auf wechselnden, flächigen Baustellen bzw. auf landwirtschaftlichen Nutzflächen. Im Falle des Flächenverkehrs fallen Emissionen durch das

Rangieren, Anfahren, Kaltstarts, Verdunstung und Abrieb auf verkehrlich genutzten Flächen an, die nicht dem Straßenverkehr als Linienquelle im klassischen Sinn zugeordnet werden und sich flächig über das Untersuchungsgebiet verteilen. Der Verkehr auf dem niederrangigen Straßennetz außerhalb der Stadt Salzburg wurde ebenfalls als Flächenverkehr berechnet.

Die Emissionsdaten der verschiedenen Flächenquellen wurden vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung als Rasterdaten mit unterschiedlichen horizontalen Auflösungen (25 m x 25 m, 50 m x 50 m und 100 m x 100 m) zur Verfügung gestellt:

Quellgruppe 7 – Raumwärme (stationär):

Kleine stationäre Flächenquellen z.B. durch Haushalte oder Kleinverbraucher

Auflösung: 25 m x 25 m und 50 m x 50 m

Quellgruppe 8 – Off-Road (Baumaschinen usw.):

Emissionen verursacht durch Off-Road-Maschinen, darunter vorwiegend durch Baumaschinen sowie zusätzlich durch landwirtschaftliche Nutzung der Böden und Gülleverteilung

Auflösung: 50 m x 50 m und 100 m x 100 m

Quellgruppe 9 – Flächenverkehr:

Bezeichnet Verkehrsemissionen, welche nicht den Linienquellen zugeordnet werden, z.B.

Emissionen auf Stellplatzflächen, Kunden- oder Mitarbeiterparkplätzen, Gewerbeflächen auf denen rangiert, gewartet oder geparkt wird.

Auflösung: 50 m x 50 m

Für jede Flächenquellgruppe müssen neben der Quellstärke und den Rasterkoordinaten Freisetzungshöhen definiert werden. Diese können Tabelle 1 entnommen werden. Die Abkürzung „z“ steht entsprechend für die mittlere Höhe über Grund der Emittenten, sowie „dz“ für die vertikale Ausdehnung der Quelle. Dabei ist „z“ im Zentrum der vertikalen Ausdehnung definiert.

Tabelle 1: Freisetzungshöhen der Flächenquellen

Quellgruppe		Methodik Quellhöhe	z	dz
7	Stationäre Raumwärme	mittlere Höhe 10 m	10	2
8	Off-Road	mittlere Höhe 2 m oder 4m	2 oder 4	1
9	Flächenverkehr	mittlere Höhe 2 m	2	1

4.2.4 Ganglinien der Emissionen

Bei der Berechnung der Immissionsbelastungen werden Tages- und Jahresgang der Emissionsquellen berücksichtigt. Die verwendeten Ganglinien werden in Abbildung 4 und Abbildung 5 dargestellt.

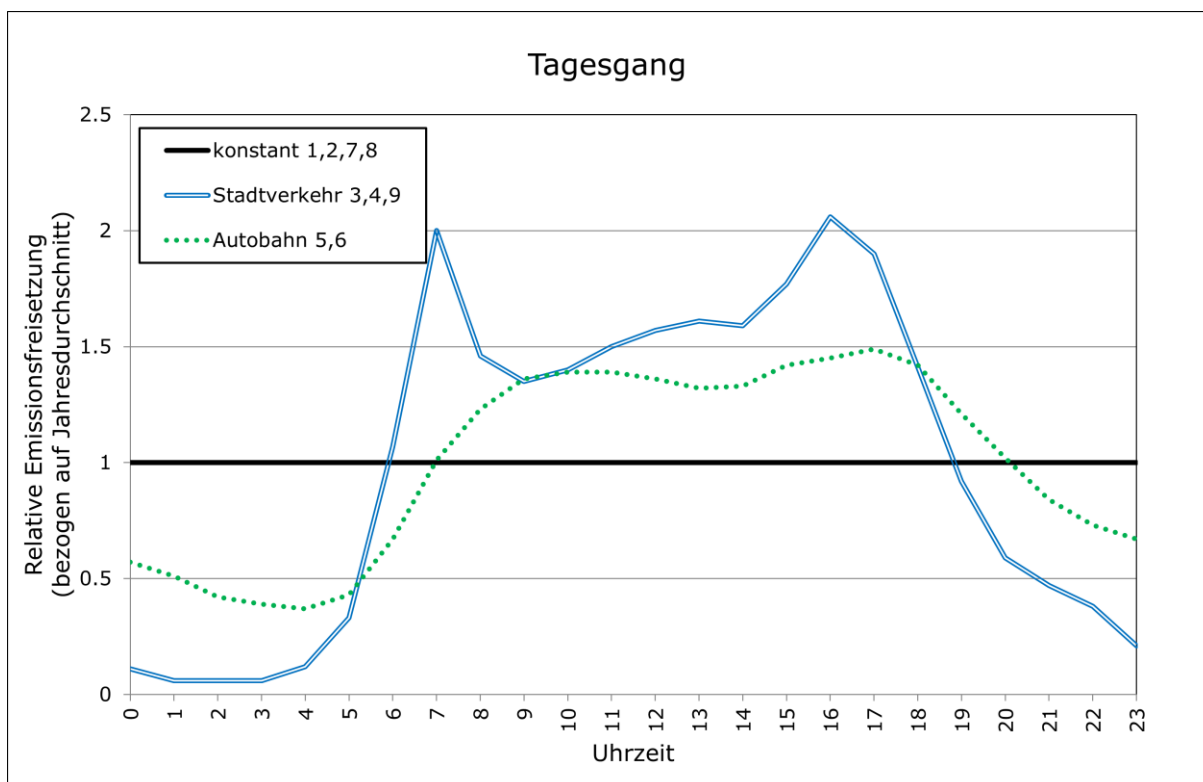


Abbildung 4: Relativer Tagesgang der Emissionsquellen

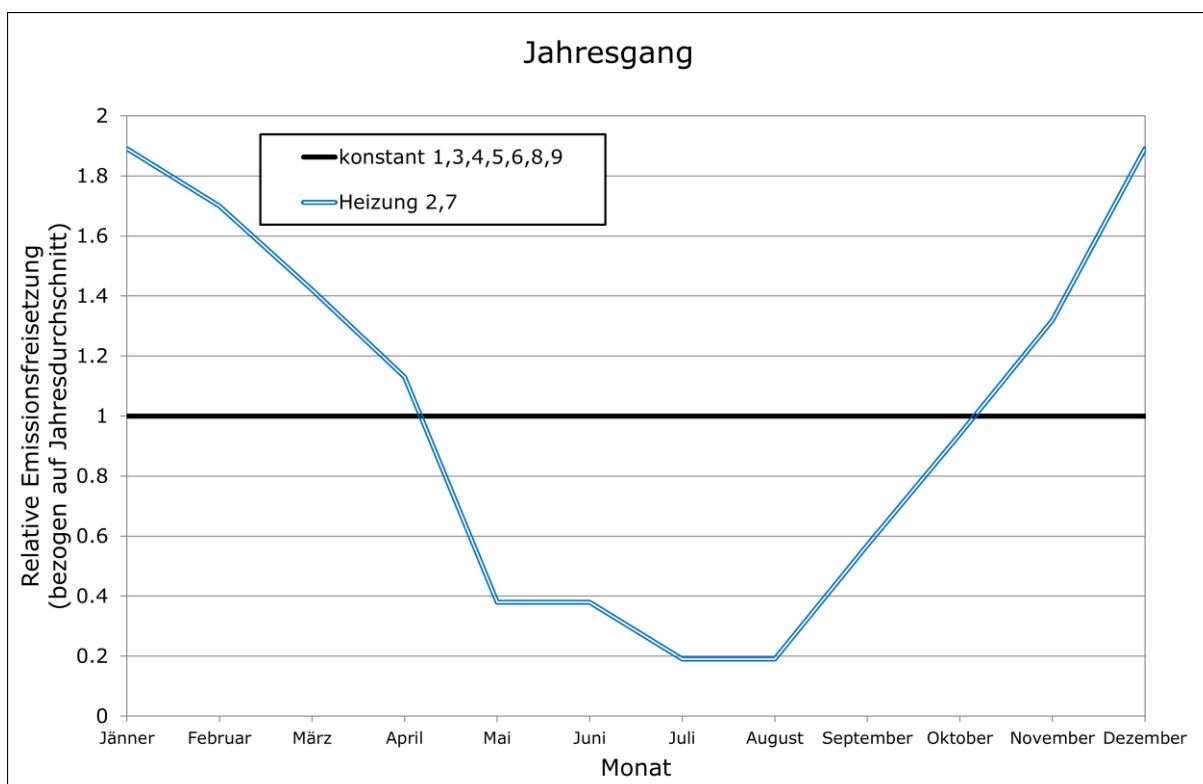


Abbildung 5: Relativer Jahresgang der Emissionsquellen

4.3 Methodik Immissionen

4.3.1 Grenzwerte

Als Immissionsgrenzwert der Konzentration zum dauerhaften Schutz der menschlichen Gesundheit in ganz Österreich gelten gemäß IG-L [3] die Werte in nachfolgender Tabelle:

Tabelle 2: Immissionsgrenzwerte nach IG-L in µg/m³ (ausgenommen CO: angegeben in mg/m³; Arsen, Kadmium, Nickel, Benzo(a)pyren: angegeben in ng/m³)

Luftschadstoff	HMW	MW8	TMW	JMW
Schwefeldioxid SO ₂	200 ¹⁾		120	
Kohlenmonoxid CO		10		
Stickstoffdioxid NO ₂	200			30 ²⁾
PM ₁₀			50 ³⁾	40
PM _{2.5}				25
Blei in PM ₁₀				0.5
Benzol				5
Arsen				6 ⁴⁾
Kadmium				5 ⁴⁾
Nickel				20 ⁴⁾
Benzo(a)pyren				1 ⁴⁾

¹⁾Drei Halbstundenmittelwerte pro Tag, jedoch maximal 48 Halbstundenmittelwerte pro Kalenderjahr bis zu einer Konzentration von 350 µg/m³ gelten nicht als Überschreitung.

²⁾ Seit 01.01.2010 beträgt die Toleranzmarge 5 µg/m³. Im Jahr 2012 ist eine Evaluierung der Wirkung der Toleranzmarge für die Jahre 2010 und 2011 durchzuführen. Auf Grundlage dieser Evaluierung wird gegebenenfalls der Entfall der Toleranzmarge verordnet.

³⁾Darf seit 01.01.2010 nur mehr 25-mal pro Jahr überschritten werden.

⁴⁾Gesamtgehalt in der PM₁₀-Fraktion als Durchschnitt eines Kalenderjahres.

Tabelle 3: Grenzwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation [4] in µg/m³

Luftschadstoff	Winter	TMW	Jahresmittelwert
Schwefeldioxid	20	50	20
Stickstoffoxide (als NO ₂)			30
Stickstoffdioxid		80	

4.3.2 Berechnung der Immissionsbelastungen

Die Berechnung der Immissionsbelastungen erfolgt mit dem Modellsystem GRAMM/GRAL, wobei die Windfelder mit dem prognostischen Strömungsmodell GRAMM und die Konzentrationsfelder mit dem Partikelmodell GRAL (Version 24.04), berechnet werden. Eine detaillierte Beschreibung des Modells und Ergebnisse von Validierungsrechnungen können auf der GRAL-Homepage (<https://gral.tugraz.at/>) heruntergeladen werden [5]. Die verwendeten Eingangsparameter für die vorliegenden Berechnungen werden im Anhang (Kapitel 11.1) dokumentiert.

4.3.3 Berechnung der Gesamtbelastungen

In der Ausbreitungsmodellierung werden nur die Immissionsbeiträge der berücksichtigten Emissionen berechnet. Zur Ermittlung der Gesamtbelastung muss noch die Vorbelastung hinzugezählt werden. Diese wird auf Basis der Messergebnisse aus der kontinuierlichen Luftgütemessung von Mehring (Bayern) ermittelt (siehe Kapitel 5.2.3).

4.3.4 NO-NO₂-Umwandlung

Die emittierten Stickstoffoxid-Emissionen (NO) bestehen zum überwiegenden Teil aus NO. Nach dem Austritt in die Atmosphäre wird in der Folge NO zu NO₂ oxidiert. Eine detaillierte Berechnung dieses Oxidationsprozesses mittels geeignetem Chemiemodell ist für diese Untersuchung nicht zielführend, da hierfür umfangreiche Eingangsparameter notwendig wären, welche nicht zur Verfügung stehen (z. B. Strahlungsdaten, Temperaturverteilung, Ozongehalt, HC-Gehalt, zeitlich hochauflösende Emissionsverläufe aller Emittenten des Untersuchungsgebiets usw.).

Eine einfache Alternative zur Ermittlung der NO₂-Umwandlung stellt die empirische Konversionsfunktion nach Romberg dar (VDI-Richtlinie 3782 [2]). Dabei werden die emittierten Stickstoffoxide NO_x (Summe aus NO₂ und NO, wobei NO als NO₂ gerechnet wird) zuerst inert betrachtet und die Konzentration berechnet. Auf Basis dieser Konzentrationsverteilung wird dann mit der Beziehung die NO₂-Konzentration ermittelt.

$$NO_2 = NO_x \cdot \left(\frac{A}{NO_x + B} + C \right) \quad (1)$$

Für Österreich wurden die Parameter A, B und C aus Messdaten der Jahre 2006-2016 in [6] abgeleitet. Zu beachten ist, dass die Umwandlungsrate regional unterschiedlich sein kann.

Zur Überprüfung wurden die Konversionsfunktionen mit Daten von Luftgütemessstellen am Rudolfsplatz, Mirabellplatz, im Leherer Park und bei der Autobahn A1 für die Jahre 2019 bis 2023 verglichen (Abbildung 6) und die Konversionsfunktion gemäß Tabelle 4 verwendet. Die Position der Stationen kann aus Abbildung 12 entnommen werden.

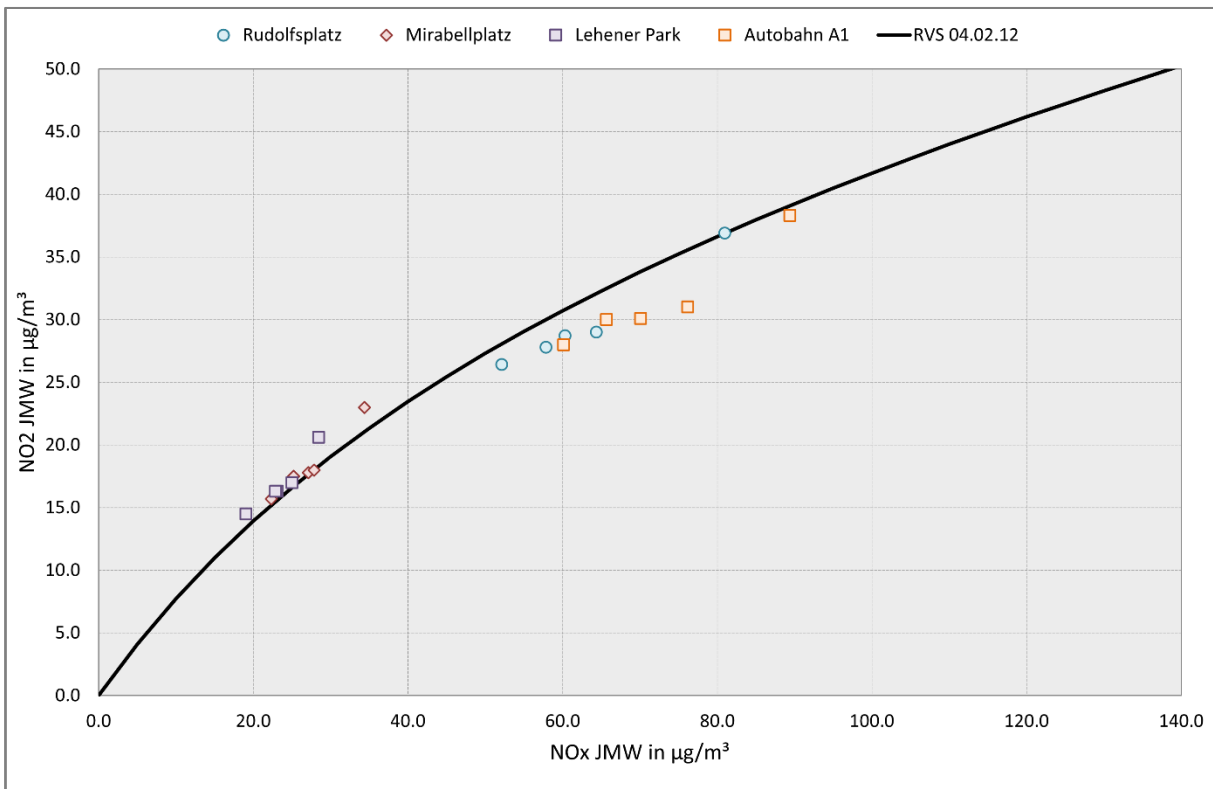


Abbildung 6: NO_x zu NO₂ Umwandlung für die Messungen am Rudolfplatz, Mirabellplatz, im Lehener Park und bei der Autobahn A1.

Tabelle 4: Parameter für die NO₂-Umwandlungsfunktion abgeleitet aus österreichischen Datensätzen

Konzentrationsgröße	Funktionsparameter		
	A	B	C
Jahresmittelwert	49	65	0,12
98 Perzentil HMW	65	65	0,12
99.8 Perzentil HMW	70	65	0,12

4.3.5 Berechnung des maximalen Halbstundenmittelwertes von NO₂

Die Modellierung von Spitzenbelastungen mit einem Ausbreitungsmodell ist immer mit größeren Unsicherheiten verbunden als die Modellierung von Jahresmittelwerten. Die Ursache liegt darin, dass Spitzenbelastungen per Definition Einzelereignisse und somit statistische Ausreißer sind. Diese können im Falle von NO₂ durch außergewöhnlich hohe Umwandlungsraten von NO zu NO₂, durch hohe Vorbelastungswerte (z.B. Ferntransport) oder außergewöhnlich hohes Verkehrsaufkommen (Stauereignis) verursacht werden. Außerdem basieren Ausbreitungsmodelle immer auf mehreren Turbulenzparametrisierungen, wo statistische Ausreißer, die zu Spitzenbelastungen führen können, nicht berücksichtigt werden. Letztlich können auch Einzelereignisse, welche in der Modellierung nicht berücksichtigt werden können, zu Spitzenbelastungen bei einzelnen Aufpunkten führen (z.B. temporäre Emissionsquellen).

Aus diesen Gründen wird auf eine explizite Modellierung des maximalen Halbstundenmittelwertes verzichtet. Die verwendete Methodik basiert auf der Berechnung der Gesamtbelastung für das 98-Perzentil für NO₂ und in weiterer Folge in einer Korrelation zwischen der Gesamtbelastung für das 98-Perzentil mit der Gesamtbelastung für den maximalen Halbstundenmittelwert [6].

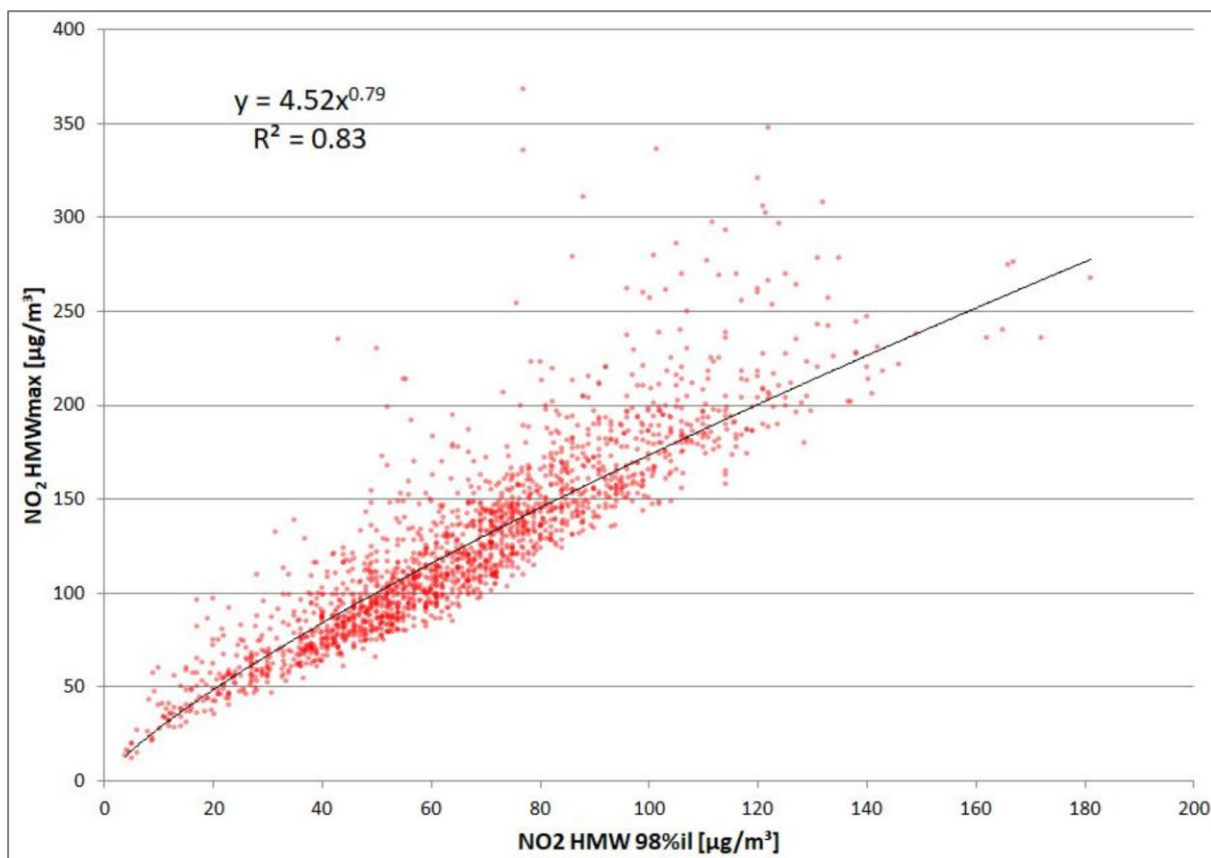


Abbildung 7: Empirischer Zusammenhang zwischen 98 Perzentil NO₂ und dem maximalen Halbstundenmittelwert von NO₂ [6].

4.3.6 Eingangsparmeter

Um eine differenzierte Aussage über den Beitrag unterschiedlicher Emittenten zur gemessenen Luftschadstoffkonzentrationen machen zu können, wurden möglichst viele Quellen im Simulationsmodell als eigene Quellgruppe definiert. Das bedeutet, dass für diese Quellgruppen eigene Konzentrationsfelder für alle klassifizierten Wetterlagen berechnet werden. Tabelle 5 zeigt die 13 verwendeten Quellgruppen.

Tabelle 5: Definition der Quellgruppen

Quelle	Bezeichnung	Quellgruppe
Punktquelle	kontinuierliche Prozesswärme	1
	Wärmeversorgung	2
Linienquelle	PKW IO und AO	3
	LKW IO und AO	4
	PKW AB	5
	LKW AB	6
Flächenquelle	stationäre Raumwärme	7
	Off-Road	8
	Flächenverkehr	9

In den Simulationen wurde eine möglichst hohe Partikelanzahl verwendet, damit möglichst stetig verlaufende Konzentrationsfelder berechnet werden. In diesem Fall wurde folgende Partikelanzahl gewählt:

Punktquellen	1500 Partikel/Sekunde
Flächenquellen	800 Partikel/Sekunde
Linienquellen	800 Partikel/Sekunde

Insgesamt ergibt das für alle Emissionen im gesamten Berechnungsgebiet eine Partikelanzahl von 5,58 Millionen pro 30 Minuten.

4.3.7 Zeitliche und räumliche Auflösung

Das gesamte Rechengebiet besitzt eine Größe von 7,5 km x 7,5 km. Die horizontale Auflösung der Konzentrationsfelder beträgt 5 m. Dadurch können hohe Konzentrationsgradienten (beispielsweise neben Straßen) abgebildet werden. Die vertikale Auflösung des Auszählgitters beträgt 2 m. In der Simulation wurde die Schnittebene mit 3 m über Grund festgelegt.

Die zeitliche Auflösung der Simulationen beträgt 30 Minuten. Das Modell berechnet die Konzentrationsfelder für 936 klassifizierte Wetterlagen. Auf Basis dieser Wetterlagen wird der Konzentrationsverlauf eines Jahres simuliert. Mit Hilfe von Tages- und Jahresgängen kann auch die Variabilität der einzelnen Quellen berücksichtigt werden. Diese Methodik ermöglicht ebenfalls eine Auswertung von maximalen Tages- und Halbstundenmittelwerten sowie von Perzentilen.

4.3.8 Gebäudeumströmung

Der Einfluss der Gebäude auf das Windfeld wurde in dieser Untersuchung vom Modellsystem GRAMM/ GRAL berücksichtigt. Dafür wurde die Gebäudeumströmung im Modell GRAL mit einer horizontalen Auflösung von 5 m x 5 m berechnet.

5 Beschreibung der Eingangsdaten

Als Grundlagen für die Modellierung des NO_x/NO₂-Immissionskatasters wurden folgende Daten verwendet:

- Digitales Geländemodell von Salzburg
- Digitales Oberflächenmodell von Salzburg
- Meteorologische Daten der Geosphere Austria (vormals ZAMG)
- Emissionswerte vom Amt der Salzburger Landesregierung
- Luftgütemessungen vom Amt der Salzburger Landesregierung

5.1 Meteorologie

Da für die Ausbreitungsmodellierung das für den Bericht von 2014 erstellte Windfeld genutzt wird, bilden dieselben meteorologischen Ausgangsbedingungen die Grundlage für die Aktualisierung des Immissionskatasters. Es wird davon ausgegangen, dass die meteorologischen Daten weiterhin hinreichend repräsentativ für den Untersuchungsraum sind.

Für die Modellierungen wurde eine Zeitreihe der meteorologischen Parameter Windgeschwindigkeit, -richtung und Ausbreitungsklasse gemäß ÖNORM M 9440 benötigt. Da nur eine meteorologische Station für die Initialisierung verwendet wurde, ist die Standortwahl von hoher Bedeutung. Die Messung sollte das übergeordnete Windsystem möglichst gut erfassen und repräsentativ für das Untersuchungsgebiet sein. In dieser Untersuchung wurde die Station Flughafen Salzburg (Abbildung 8) ausgesucht. Die Daten wurden von der Geosphere Austria für den Messzeitraum Juni 2008 bis Juni 2009 geprüft.

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ist in Abbildung 9 dargestellt. Windschwache Wetterlagen unter 1 m/s kommen in knapp 27 % des Jahres vor. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit betrug 2,1 m/s.

Betrachtet man die mittlere Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen so sind zwei Hauptwindrichtungen erkennbar (Abbildung 10). Hauptsächlich treten Windrichtungen aus Nordwest und Südsüdost auf.

Der mittlere Tagesgang der Windrichtungen ist in Abbildung 11 dargestellt. Tagsüber zwischen 9:00 h und 18:00 h treten meistens Windrichtungen aus Norden auf. Nachts sind hingegen südliche Windrichtungen häufiger. Diese stehen mit schlechteren Ausbreitungsbedingungen in Verbindung, da die thermische Schichtung der Atmosphäre stabiler ist.

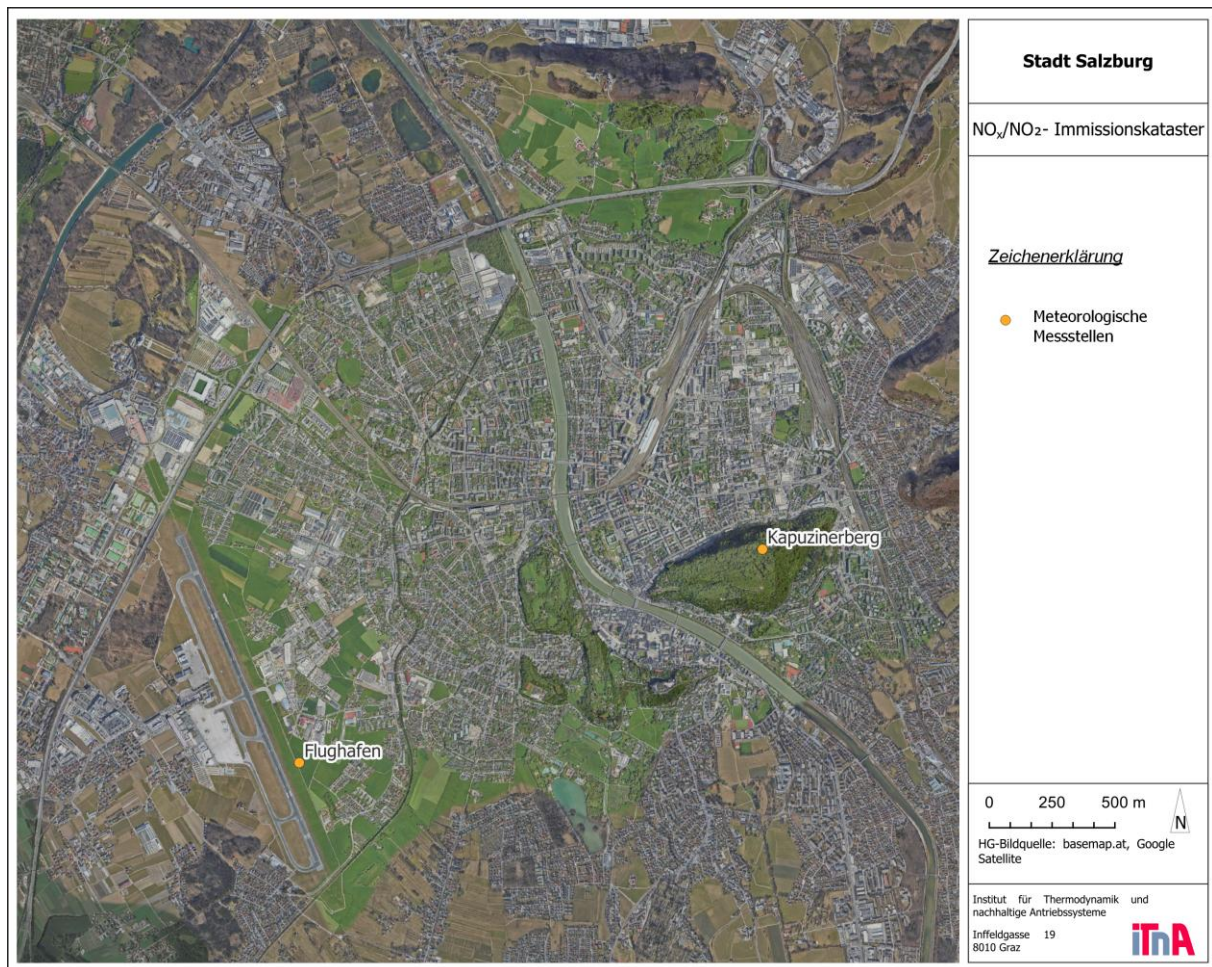


Abbildung 8: Übersicht meteorologische Messstellen

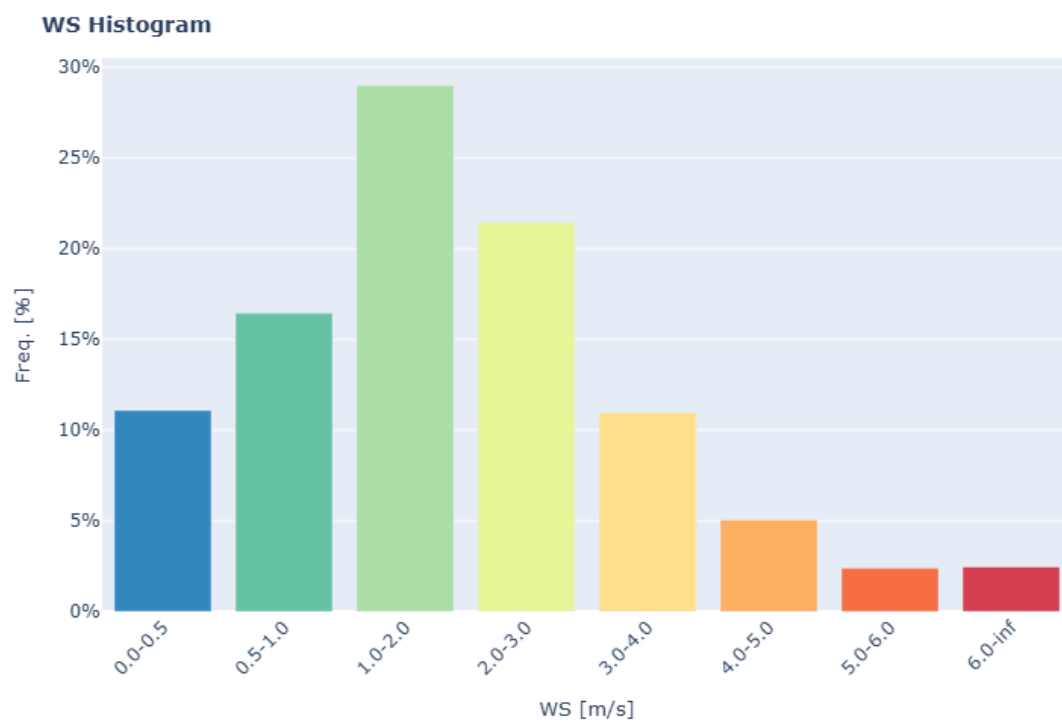


Abbildung 9: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Flughafen

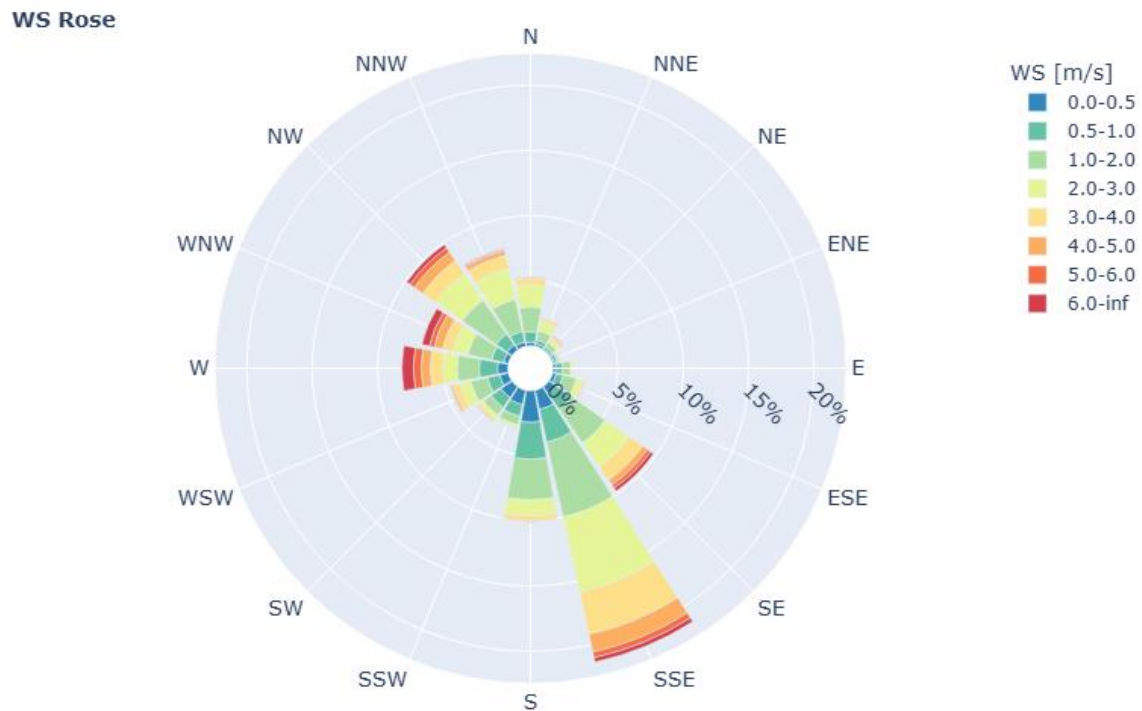


Abbildung 10: Mittlere Windrichtungsverteilung nach Windgeschwindigkeitsklassen [%] am Standort Salzburg Flughafen

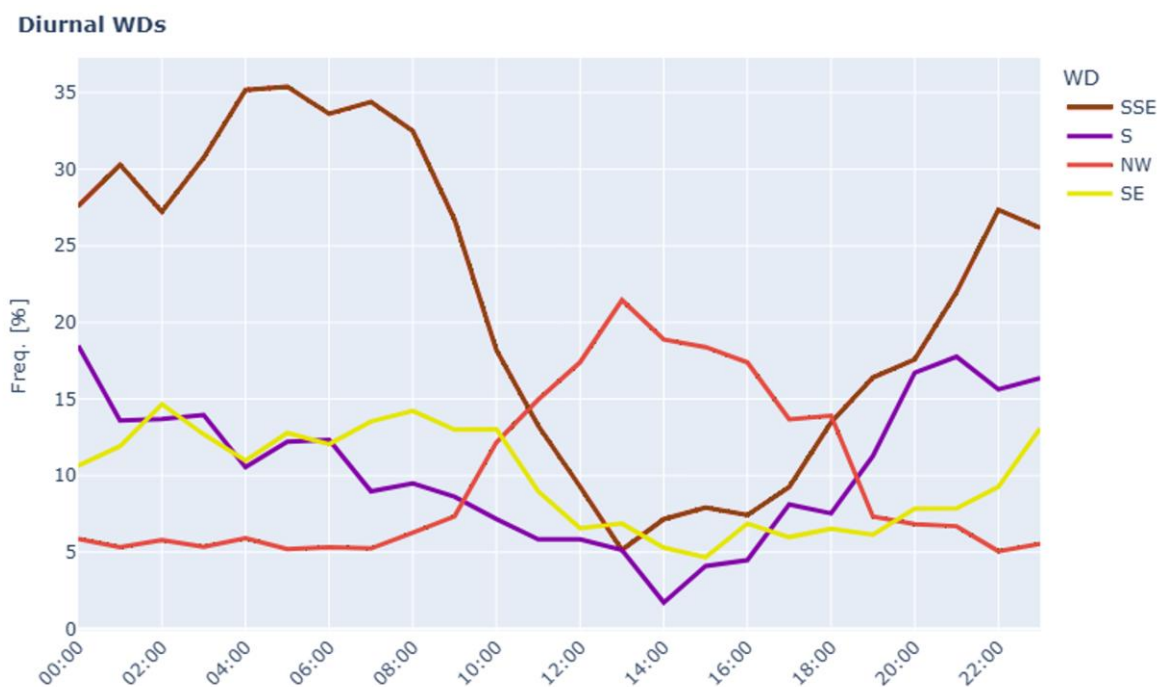


Abbildung 11: Mittlere Häufigkeit der Hauptwindrichtungen am Standort Salzburg Flughafen

5.2 Luftgüte

Zur Validierung der Ausbreitungsrechnungen werden Messwerte der kontinuierlichen Luftgütestationen des Messsystems SALIS und Passivsammlermessungen aus den Jahren 2019 bis 2023 herangezogen. Die Lage der Messstationen ist in Abbildung 12 dargestellt. Die Werte wurden aus den Jahresberichten 2019 bis 2023 entnommen ([7], [8], [9], [10], [11]).



Abbildung 12: Permanente Luftgütestationen im Untersuchungsgebiet des Salzburger Luftgüte Informations Systems (SALIS)

5.2.1 Kontinuierliche Messstationen

Werden nur die Stationen innerhalb des GRAL-Gebiets betrachtet, wurde der Grenzwert für den Jahresmittelwert an NO₂ von 35 µg/m³ (inklusive Toleranzmarge) zuletzt im Jahre 2019 an den Stationen Salzburg Rudolfsplatz und Salzburg Autobahn A1 überschritten. Bei allen anderen Stationen wurde der Grenzwert eingehalten. Der Grenzwert für den maximalen Halbstundenmittelwert von 200 µg/m³ wurde in den letzten Jahren (2019-2023) bei den betrachteten vier Stationen in Salzburg nicht überschritten (vgl. mit Tabelle 6). Weiters wurden zur Nachvollziehbarkeit der Vorbelastungsermittlung die Werte der übrigen Luftgütemessstationen im Bundesland Salzburg aufgeführt.

Tabelle 6: Gemessene NO₂-Konzentrationen in Salzburg

Station	Jahr	JMW	TMW _{max}	HMW _{max}	JMW	TMW _{max}	HMW _{max}
		NO ₂ in µg/m ³			NO _x in µg/m ³		
Salzburg Rudolfsplatz	2019	36.9	81.1	144.2	81.0	247.5	730.4
	2020	29.0	66.3	124.1	64.4	198.6	552.2
	2021	28.7	56.9	109.0	60.4	168.7	490.9
	2022	27.8	55.5	108.7	57.9	174.6	434.7
	2023	26.4	54.3	107.7	52.1	137.3	369.2
Salzburg Mirabellplatz	2019	23.0	73.7	101.0	34.4	170.9	340.0
	2020	17.8	49.2	80.3	27.1	112.9	310.2
	2021	18.0	39.0	108.4	27.9	115.9	443.9
	2022	17.5	52.2	84.6	25.2	97.6	253.8
	2023	15.7	49.5	80.1	22.3	99.3	237.2
Salzburg Lehener Park	2019	20.6	68.3	97.8	28.5	144.8	341.9
	2020	17.0	49.8	77.3	25.0	113.8	310.0
	2021	16.3	42.0	81.1	23.1	101.6	246.2
	2022	16.3	50.2	78.7	22.9	113.6	269.1
	2023	14.5	48.9	82.7	19.1	98.4	243.9
Stadtautobahn A1	2019	38.3	74.3	142.1	89.4	262.4	706.3
	2020	31.0	65.3	126.2	76.2	216.4	586.6
	2021	30.1	60.4	113.9	70.1	202.5	473.9
	2022	30.0	60.9	114.6	65.7	229.6	552.4
	2023	28.0	56.4	118.2	60.2	160.1	445.6
Hallein B159	2019	36.0	82.7	132.3	86.3	301.6	749.3
	2020	29.9	60.7	152.5	69.9	222.9	642.3
	2021	30.7	60.5	96.3	69.3	209.5	738.4
	2022	29.2	59.9	90.2	62.5	163.3	442.5
	2023	26.9	55.1	96.0	55.2	161.6	391.0
Hallein Autobahn	2019	41.6	80.5	134.9	88.8	222.3	641.0
	2020	29.4	61.7	172.1	61.7	194.6	555.6
	2021	32.6	61.6	105.1	66.9	165.2	461.8
	2022	30.7	56.0	100.4	60.2	139.6	374.7
	2023	28.6	58.1	96.7	54.6	124.3	333.5
Hallein Winterstall	2019	9.8	53.4	70.3	12.6	82.3	120.3
	2020	8.5	38.0	76.1	11.7	52.7	112.1
	2021	9.1	27.7	52.6	11.8	61.9	101.6
	2022	8.4	30.6	66.8	11.3	63.2	122.8
	2023	7.6	27.8	80.0	10.1	39.5	170.0
Haunsberg	2019	6.8	29.4	70.8	8.4	34.8	73.9
	2020	6.0	24.6	51.3	7.8	37.4	100.3
	2021	5.8	22.9	36.3	7.6	28.8	168.3
	2022	5.5	23.4	38.3	7.3	28.1	56.3
	2023	5.0	19.9	40.7	6.7	24.6	49.9
St. Johann	2019	21.0	70.2	93.6	36.3	175.9	344.8
	2020	16.5	55.1	82.0	30.4	131.4	274.5
	2021	17.0	57.3	79.1	28.7	144.6	285.5
	2022	16.2	62.5	82.3	26.7	113.3	215.1
	2023	14.8	54.1	73.3	23.7	151.1	247.9
Tamsweg	2019	13.7	52.1	86.9	24.8	123.4	278.1
	2020	13.1	53.4	101.6	26.9	173.0	518.4
	2021	12.6	52.5	93.2	24.1	109.1	263.0
	2022	11.7	50.9	90.2	21.2	89.2	231.9
	2023	11.5	41.9	80.0	21.6	116.5	279.8
Zederhaus	2019	20.0	64.6	113.9	33.4	163.1	435.9
	2020	17.8	78.0	114.2	31.5	181.8	351.8
	2021	18.3	75.3	96.6	29.0	218.5	370.0
	2022	16.1	58.9	97.7	27.3	147.3	318.4
	2023	15.7	52.4	92.3	25.4	164.1	301.2
Zell am See	2019	17.5	66.6	95.7	28.5	132.2	293.0
	2020	13.6	53.4	71.5	22.9	116.7	326.0
	2021	12.7	54.7	73.0	18.7	92.6	183.9
	2022	12.6	58.2	73.5	20.1	106.4	153.9
	2023	11.4	47.9	66.6	17.8	80.0	153.0

5.2.2 Ergebnisse der Messungen mit Passivsammler

Seit dem Jahr 2010 führt das Land Salzburg verstärkt Luftqualitätsmessungen mit Passivsammler durch – siehe Abbildung 13. Diese Messdaten werden in weiterer Folge für die Validierung der Simulationsergebnisse herangezogen. Für die Messpunkte innerhalb des Untersuchungsgebietes werden die Ergebnisse der Messkampagne aus dem Jahr 2022 in Tabelle 7 zusammengefasst.

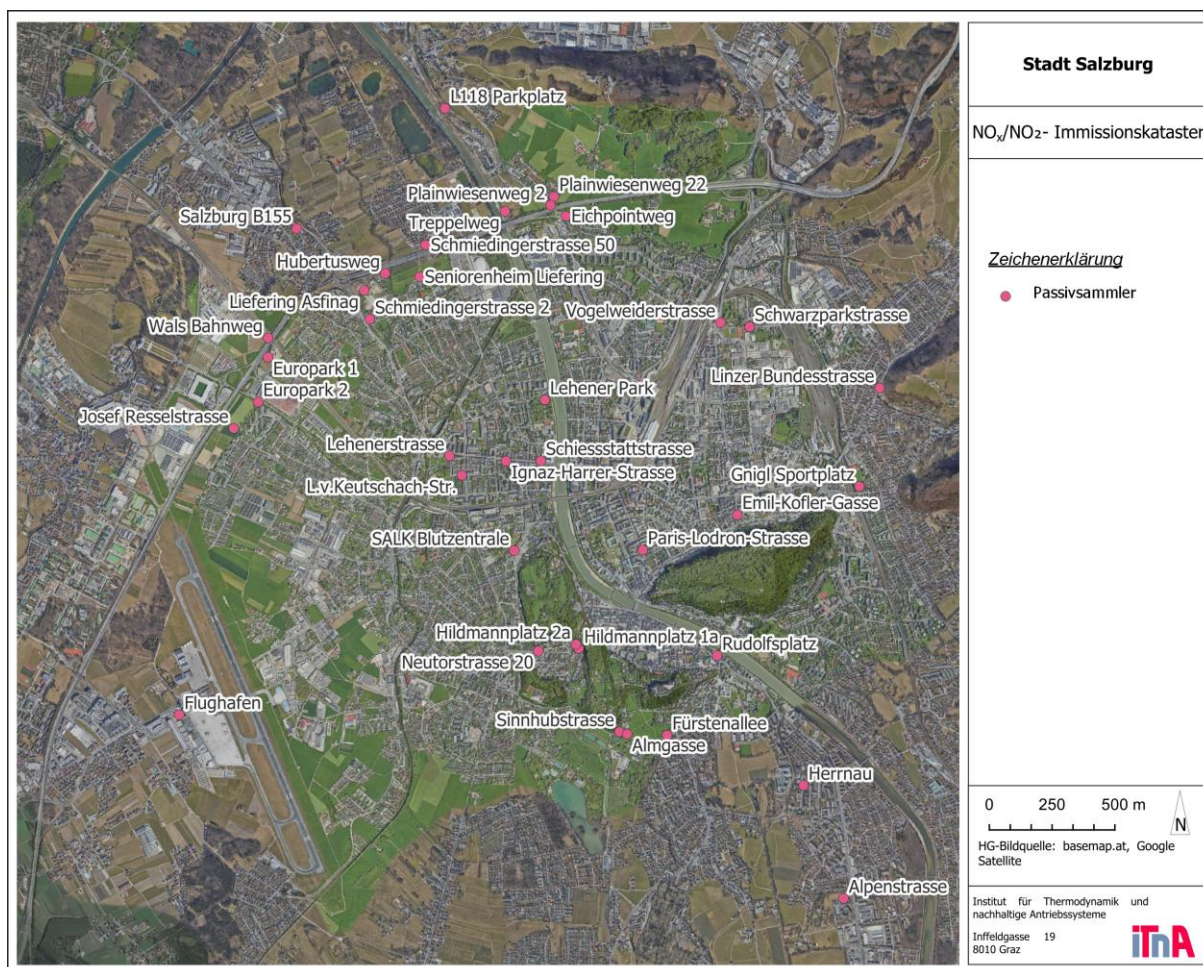


Abbildung 13: Position der Passivsammler im Jahr 2022 im Untersuchungsgebiet.

Tabelle 7: Ergebnisse der Passivsammlermessungen für das Jahr 2022

Messort	Bezirk	Siedlungsstruktur	JMW NO ₂ [µg/m ³]	Klasse
Salzburg Herrnau	Stadt Salzburg	Wohngebiet	14	I
Salzburg Alpenstraße	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	15	I
Salzburg Gnigl Sportplatz	Stadt Salzburg	Wohngebiet	15	I
Salzburg Lehener Park	Stadt Salzburg	städtischer Hintergrund	16	I
Salzburg SALK Blutzentrale	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	17	I
Salzburg Europark 2	Stadt Salzburg	verkehrsnah	18	I
Salzburg Schwarzparkstraße	Stadt Salzburg	Wohngebiet	18	I
Salzburg Treppelweg	Stadt Salzburg	autobahnnah	18	I
Salzburg Josef-Ressel-Str.	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	19	I
Salzburg Paris-Lodronstraße	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	19	I
Salzburg L.v.Keutschach-Str.	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	19	I
Salzburg Flughafen	Stadt Salzburg	verkehrsnah	19	I
Salzburg SH Lieferung	Stadt Salzburg	Wohngebiet, autobahnnah	19	I
Salzburg Schmiedingerstr. 51	Stadt Salzburg	Wohngebiet, autobahnnah	20	I
Salzburg Neutorstraße 20	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	21	I
Salzburg Hildmannplatz 2a	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	21	I
Salzburg Almgasse	Stadt Salzburg	verkehrsnah	21	I
Salzburg Fürstenallee	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	21	I
Salzburg Hildmannplatz 1a	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	22	I
Salzburg Lehener Straße	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	22	I
Salzburg Emil-Kofler-Gasse	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	22	I
Salzburg Schmiedingerstr. 2	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	22	I
Salzburg B155	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	23	I
Salzburg Hubertusweg	Stadt Salzburg	Wohngebiet, autobahnnah	24	I
Salzburg ASFINAG	Stadt Salzburg	Wohngebiet, autobahnnah	24	I
Salzburg Eichpointweg	Stadt Salzburg	Wohngebiet, autobahnnah	24	I
Salzburg Sinnhubstraße	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	25	I
Salzburg Europark 1	Stadt Salzburg	autobahnnah	25	I
Bergheim Plainwiesenweg 22	Flachgau	Wohngebiet, autobahnnah	17	I
Bergheim L118 Parkplatz	Flachgau	verkehrsnah	22	I
Bergheim Plainwiesenweg 2	Flachgau	Wohngebiet, autobahnnah	22	I
Salzburg Linzer Bundesstraße	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	27	II
Salzburg Ignaz-Harrer-Straße	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	29	II
Salzburg Rudolfsplatz	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	29	II
Salzburg Schiessstattstraße	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	30	II
Salzburg Vogelweiderstrasse	Stadt Salzburg	verkehrsnah	31	II
Wals Bahnweg	Flachgau	autobahnnah	29	II

5.2.3 Vorbelastung

Zur Ermittlung der Vorbelastung wurden Luftgütemessungen der nächstgelegenen Hintergrundmessstation in Mehring (Bayern), rund 46 km entfernt, herangezogen. Die Station wird vom Referat 24 des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) betrieben, wobei Messdaten aus den Jahren 2019 bis 2023 berücksichtigt wurden [12], [13], [14], [15], [16]. Für den maximalen Tagesmittelwert an NO_x wurde ein Wert von 89 µg/m³ abgeleitet.

Tabelle 8: Messwerte der Station Mehring (Bayern) für die Jahre 2019 bis 2023.

Station	Jahr	JMW in µg/m ³			TMW _{max} in µg/m ³
		NO	NO ₂	NO _x	NO ₂
Mehring (Bayern)	2019	3	13	16	42
	2020	3	12	15	33
	2021	2	12	14	41
	2022	2	11	13	33
	2023	2	11	13	46
	MW	2.4	11.8	14.2	39

5.3 Emissionen

Zur besseren Übersicht werden in diesem Kapitel die Emissionen des Untersuchungsgebietes dargestellt. Die Emissionsangaben wurden vom Land Salzburg zur Verfügung gestellt. In Tabelle 9 sind die Emissionen der Punkt-, Linien- und Flächenemissionen aufgelistet. Die Anteile der unterschiedlichen Quellen an den Gesamtemissionen werden in Abbildung 14 und Abbildung 15 dargestellt. Generell ist zu vermerken, dass für den Raum Freilassing ein größeres Raster für die Emissionen verwendet wurde und daher eine direkte Vergleichbarkeit mit den übrigen Untersuchungsgebieten nur eingeschränkt möglich ist.

Tabelle 9: NO_x-Emissionen im gesamten Untersuchungsgebiet

Quelle	Bezeichnung	Quellgruppe	NO _x [t/a]
Punktquelle	kontinuierliche Prozesswärme	1	490
	Wärmeversorgung	2	86
Linienquelle	PKW IO und AO	3	134
	LKW IO und AO	4	44
	PKW AB	5	92
	LKW AB	6	29
Flächenquelle	stationäre Raumwärme	7	100
	Off-Road	8	62
	Flächenverkehr	9	23

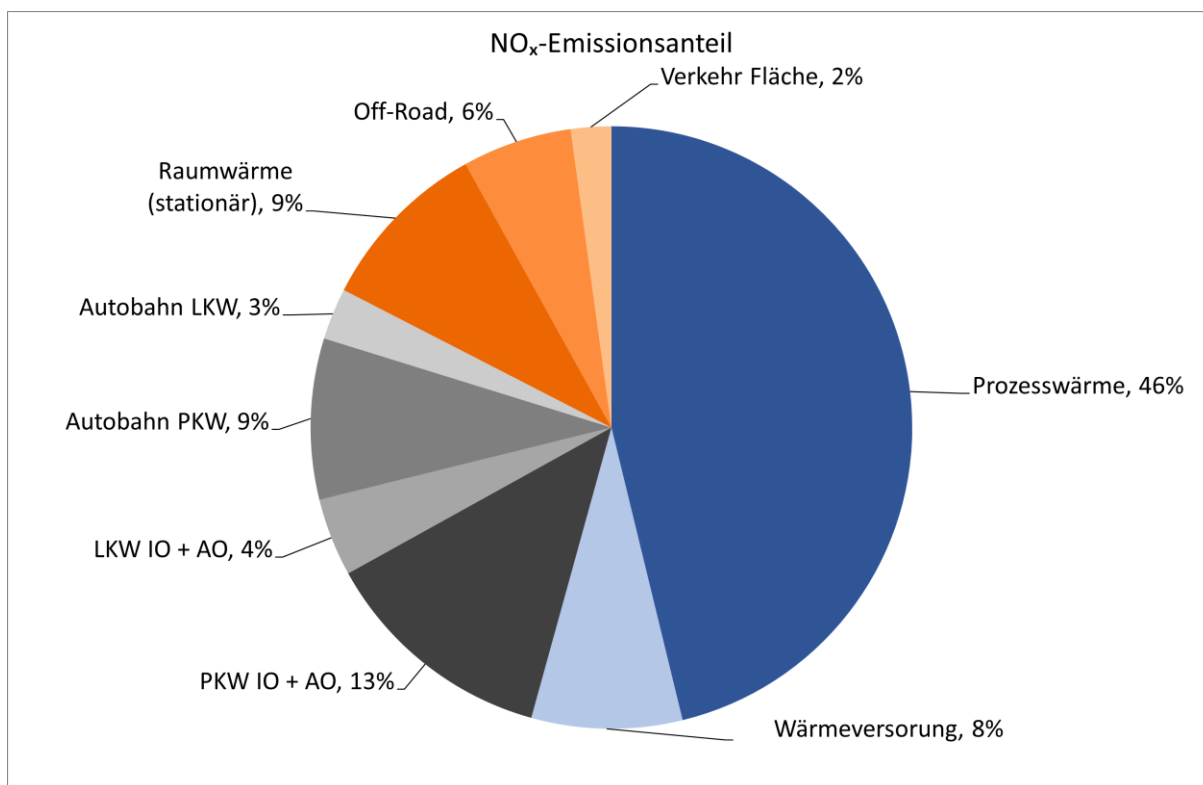


Abbildung 14: Anteil der Quellgruppen an den NO_x-Emissionen im Untersuchungsgebiet

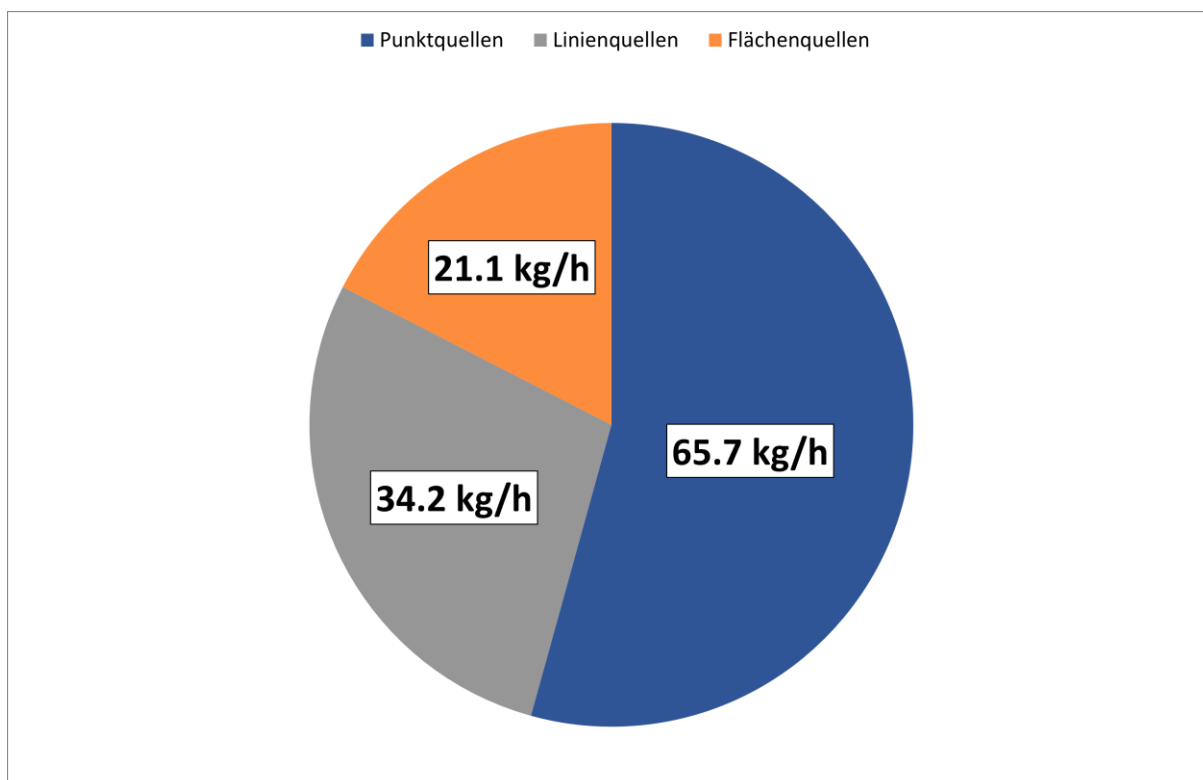


Abbildung 15: Anteil der Quellkategorien an den NO_x-Emissionen im gesamten Untersuchungsgebiet

Der größte NO_x-Emittent im Untersuchungsgebiet ist der industrielle Sektor, der durch die Abgase aus kontinuierlicher Prozesswärme geprägt ist. Rund 46 % der gesamten NO_x-Emissionen entfallen auf diesen Bereich. Die übrigen Emissionen stammen zu 29 % vom

Verkehr, 8 % von den Heizwerken und 9 % von den Kleinverbrauchern und Haushalten durch Raumwärme. Die restlichen 6 % entfallen auf die Kategorie Off-Road.

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 16 bis Abbildung 18) wird die räumliche Verteilung der Punkt-, Linien-, und Flächenquellen innerhalb des Untersuchungsgebietes von Salzburg dargestellt. Insgesamt gibt es im Untersuchungsgebiet 14 Punktquellen die in zwei Quellgruppen aufgeteilt worden sind. Die meisten dieser Punktquellen sind kleine Quellen. 6 Punktquellen emittieren mehr als 1 kg/h, wovon 2 mehr als 10 kg/h emittieren. Die höchste Punktemission beträgt rund 33 kg/h, das sind rund 290 t/Jahr.

Die Linienquellen haben aufgrund der geringen Quellhöhe den höchsten Einfluss auf die bodennahen Immissionsbelastungen. Die höchsten Emissionen weist die West-Autobahn aufgrund der großen Verkehrsbelastung auf, dabei wird ein Maximum von 1000 g/km/h verzeichnet. Neben den Linienquellen sind in Abbildung 17 auch der Flächenverkehr dargestellt, da der Verkehr auf dem niederrangigen Straßennetz außerhalb Salzburgs auch als solcher berechnet wurde. Die jährlichen Emissionen sind daher an den Rändern des Untersuchungsraums mit maximal 22 kg/a am höchsten.

Die Flächenquellen für Raumwärme und Off-Road weisen im Kerngebiet der Stadt flächenübergreifend einen Emissionswert von 14 – 22 kg/a auf. In den Außenbezirken im Westen werden 22 bis maximal 70 kg/a emittiert. Die Einheit gilt pro Rasterquadrat oder -punkt.

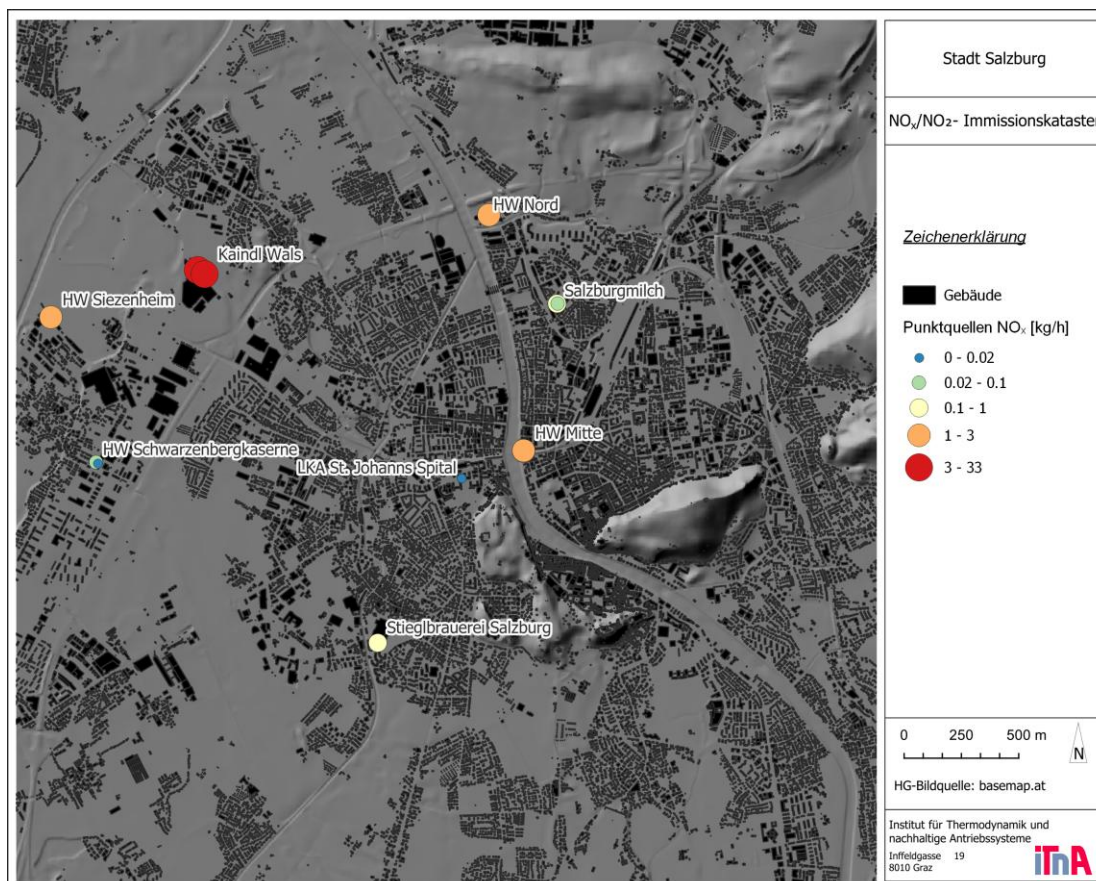


Abbildung 16: NO_x-Punktquellen im Untersuchungsgebiet

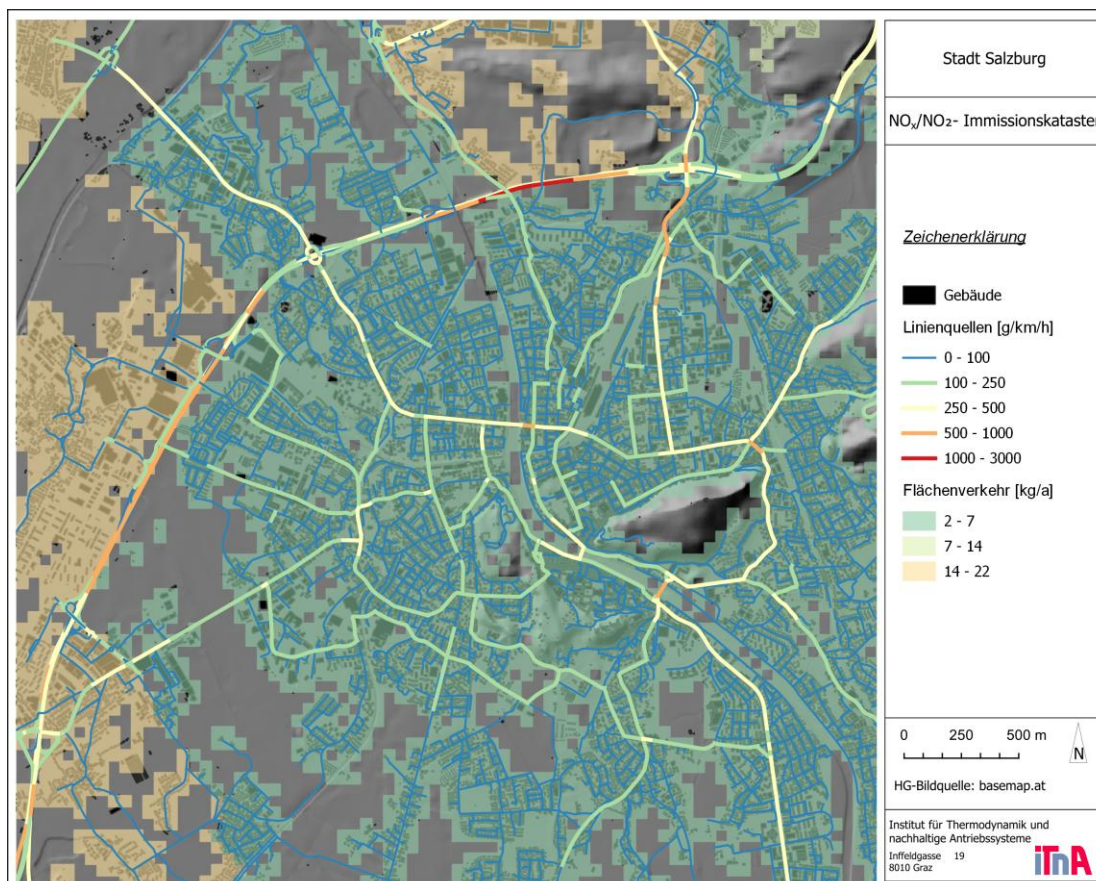


Abbildung 17: NO_x -Linienquellen und NO_x -Emission aus dem Flächenverkehr im Untersuchungsgebiet.

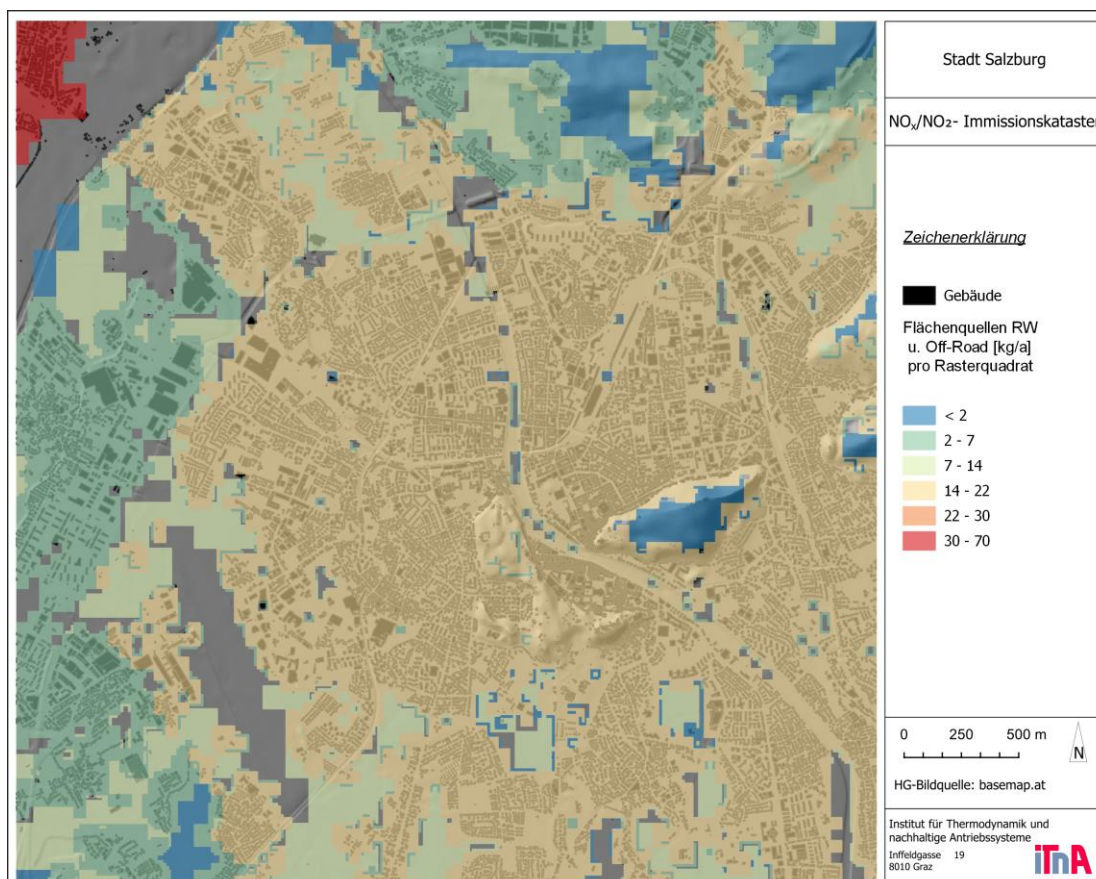


Abbildung 18: NO_x -Flächenquellen für Raumwärme und Off-Road im Untersuchungsgebiet

6 Simulationen

6.1 Strömungsmodellierung

Für die Modellierung der Strömungsfelder wurde auf das bestehende Windfeld zurückgegriffen, dieses wurde mit dem Modell GRAMM (Version 2012/06) mit einer horizontalen Auflösung von 250 m x 250 m berechnet. Als Eingangsdaten wurde die Messzeitreihe der Station Salzburg Flughafen für den Messzeitraum Juni 2008 bis Mai 2009 verwendet. Die Dateien wurden klassifiziert und in eine Ausbreitungsklassenstatistik umgewandelt. Insgesamt wurden 936 klassifizierte Strömungssituationen simuliert.

Für die Validierung der Strömungsfelder werden die Modellergebnisse mit den Messdaten der Stationen Flughafen Salzburg und Kapuzinerberg verglichen (Abbildung 8).

In Abbildung 19 und Abbildung 20 werden die simulierten Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung mit den gemessenen Häufigkeitsverteilungen verglichen. Die Hauptwindrichtungen stimmen bei den gewählten Stationen gut überein.

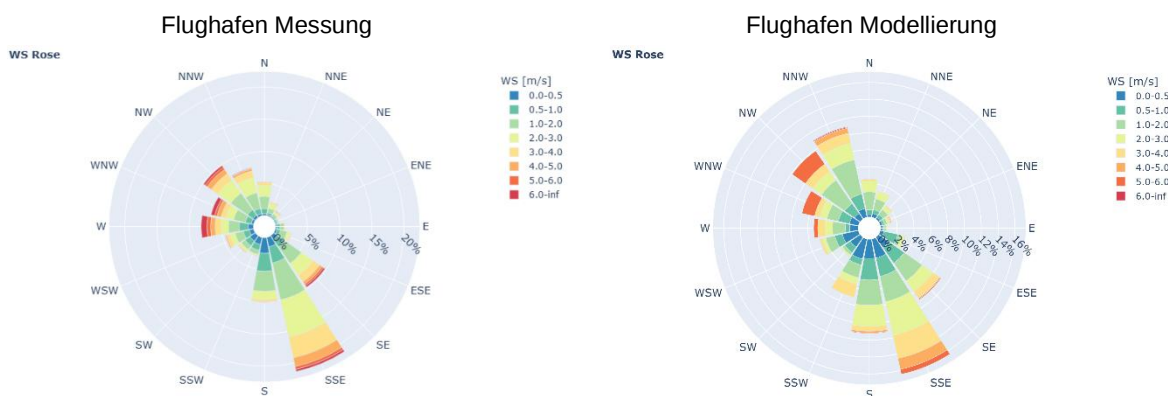


Abbildung 19: Windrose Flughafen Salzburg, Vergleich Messung gegen Simulation

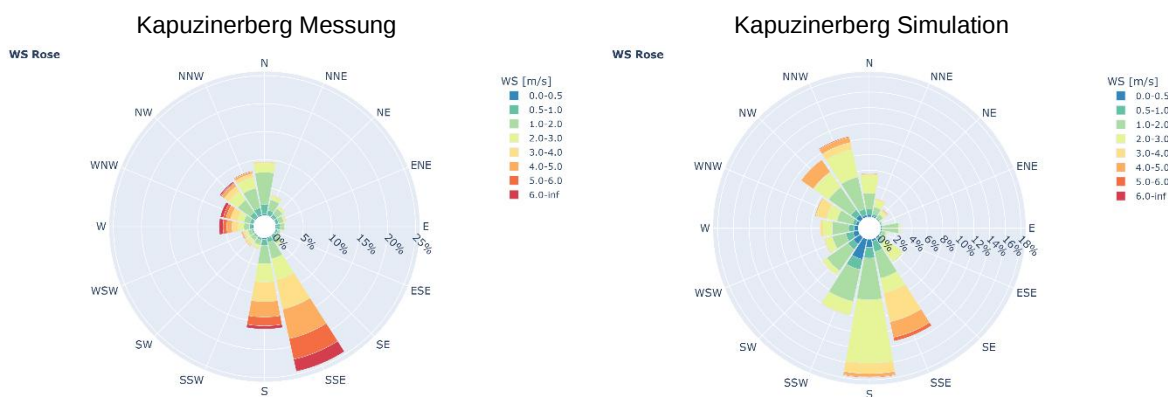


Abbildung 20: Windrose Kapuzinerberg, Vergleich Messung gegen Simulation

Abbildung 21 und Abbildung 22 zeigen die simulierten und gemessenen Windgeschwindigkeitsverteilungen. Bei allen zwei Stationen weisen die Modellergebnisse eine geringe Verschiebung zu niedrigeren Windgeschwindigkeitsklassen auf. Damit wird die Kalmenhäufigkeit im Modell geringfügig überschätzt.

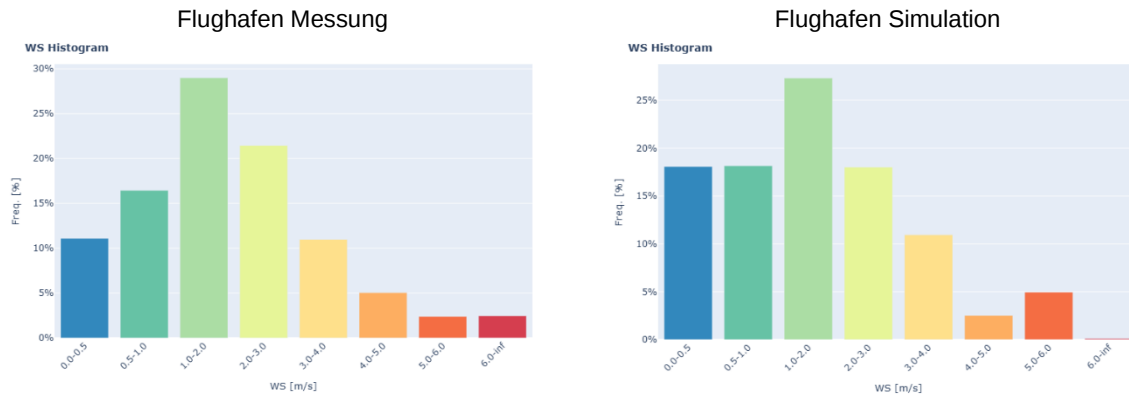


Abbildung 21: Windgeschwindigkeitsklassen Flughafen Salzburg, Vergleich Messung gegen Simulation

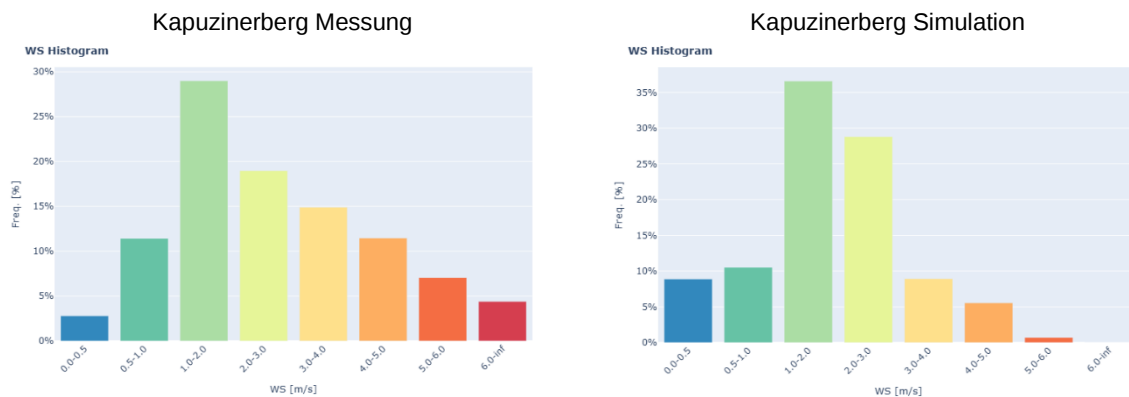


Abbildung 22: Windgeschwindigkeitsklassen Kapuzinerberg, Vergleich Messung gegen Simulation

6.2 Jahresmittelwert Stickstoffoxid (NO_x)

6.2.1 Simulationsergebnisse

In den folgenden Abbildungen werden die Ergebnisse der Modellierung der bodennahen jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentrationen für die verschiedenen Quellgruppen dargestellt. Die Vorbelastung kann 5.2.3 entnommen werden.

Die Kaminemissionen der Punktquellen verursachen in begrenzten Gebieten maximale Immissionsbelastungen von über 10 µg/m³. (vgl. mit Abbildung 23).

Die berechneten Immissionsbelastungen durch den Flächenverkehr erreichen maximal 2 bis 5 µg/m³. Im Untersuchungsgebiet Salzburg trägt diese Quellgruppe nur bedingt zur Gesamtbelastung bei (vgl. mit Abbildung 24).

Bei der Quellgruppe Raumwärme durch Kleinverbraucher betragen die höchsten Konzentrationen 5 bis 10 µg/m³. Großflächig liegt der Beitrag zwischen 2 und 5 µg/m³ (vgl. mit Abbildung 25).

Bei der Quellgruppe Off-Road liegen die Immissionen im Bereich von 1 bis 2 µg/m³ (vgl. mit Abbildung 26).

Die Immissionsbeiträge durch den PKW-Verkehr zeigen typischerweise einen starken Konzentrationsgradienten in Abhängigkeit von der Entfernung zu verkehrsbelasteten Straßen. Entlang der Autobahn erreichen die Belastungen über 20 µg/m³, entlang von Hauptverkehrsstraßen 10-20 µg/m³. Im Untersuchungsgebiet wird überwiegend flächendeckend über 1 bis 2 µg/m³ modelliert (vgl. mit Abbildung 27 und Abbildung 29).

Die Immissionsbelastungen durch den LKW-Verkehr zeigen ein ähnliches Bild. Sehr hohe Belastungen treten wieder entlang der Autobahn auf, die Belastung im innerstädtischen Bereich fällt jedoch geringer aus (vgl. mit Abbildung 28 und Abbildung 30).

Die gesamte modellierte jahresdurchschnittliche Belastung wird in Abbildung 31 dargestellt.

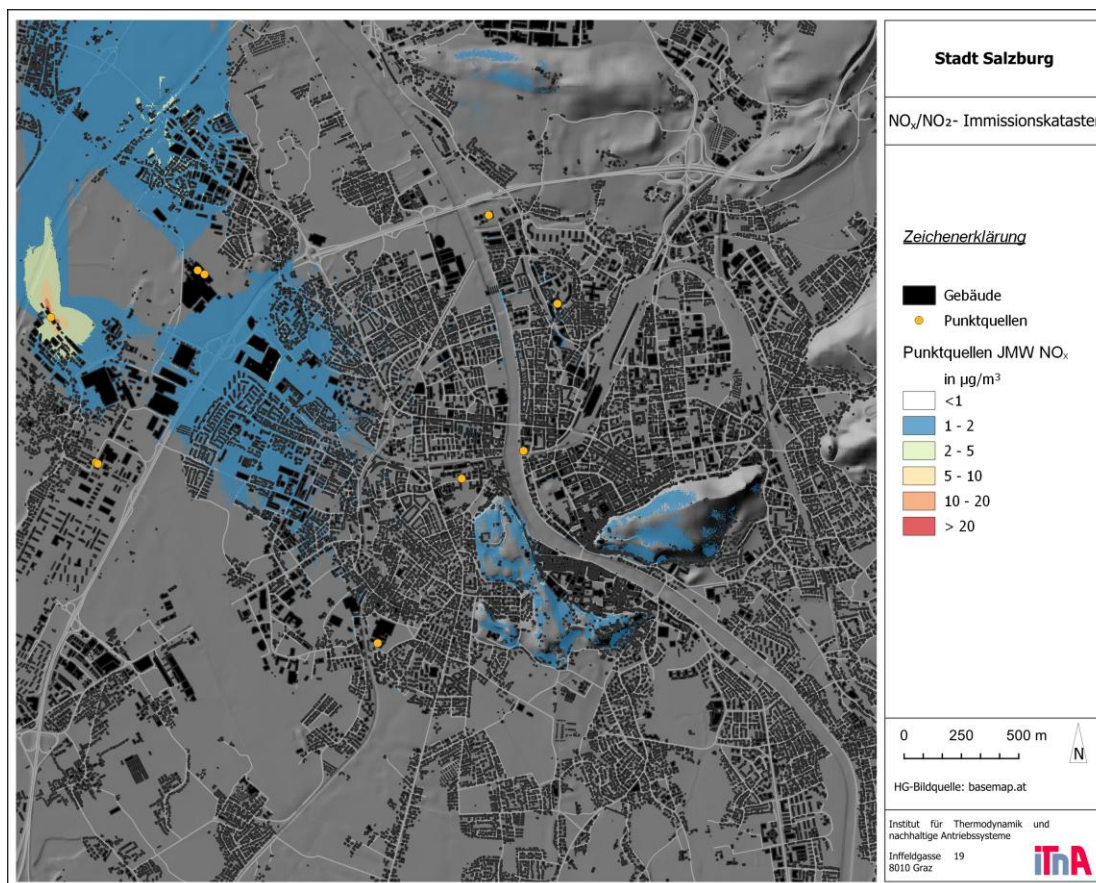


Abbildung 23: Modellierter NO_x-Zusatzkonzentration im Jahresmittel – Punktquellen

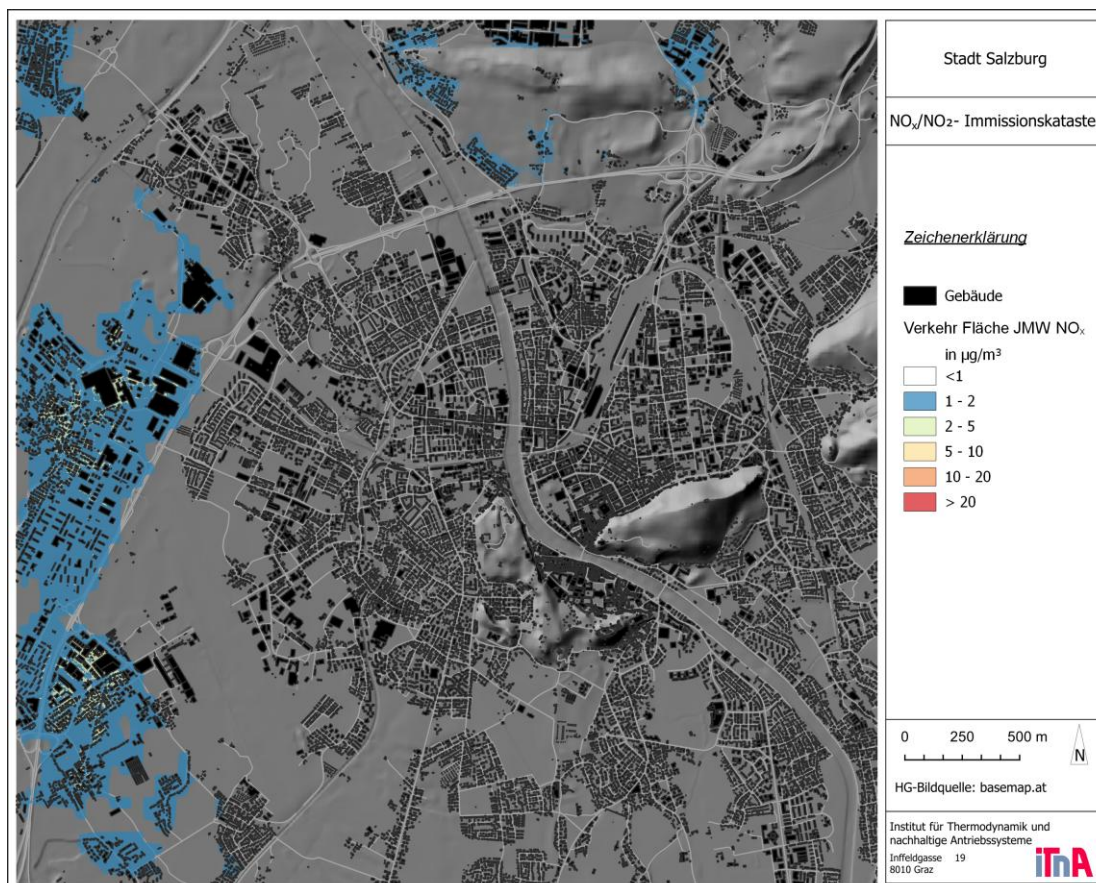


Abbildung 24: Modellierter NO_x-Konzentration im Jahresmittel - Flächenverkehr

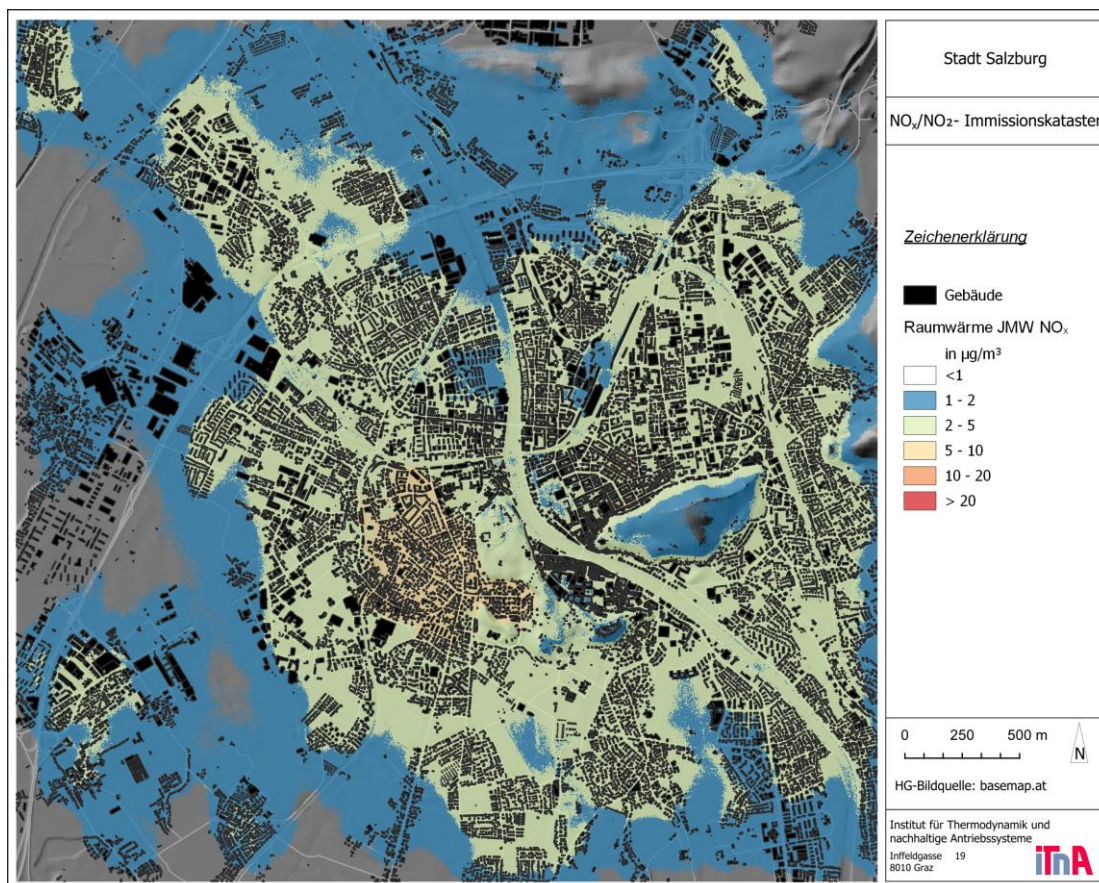


Abbildung 25: Modellierter NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Raumwärme der Kleinverbraucher

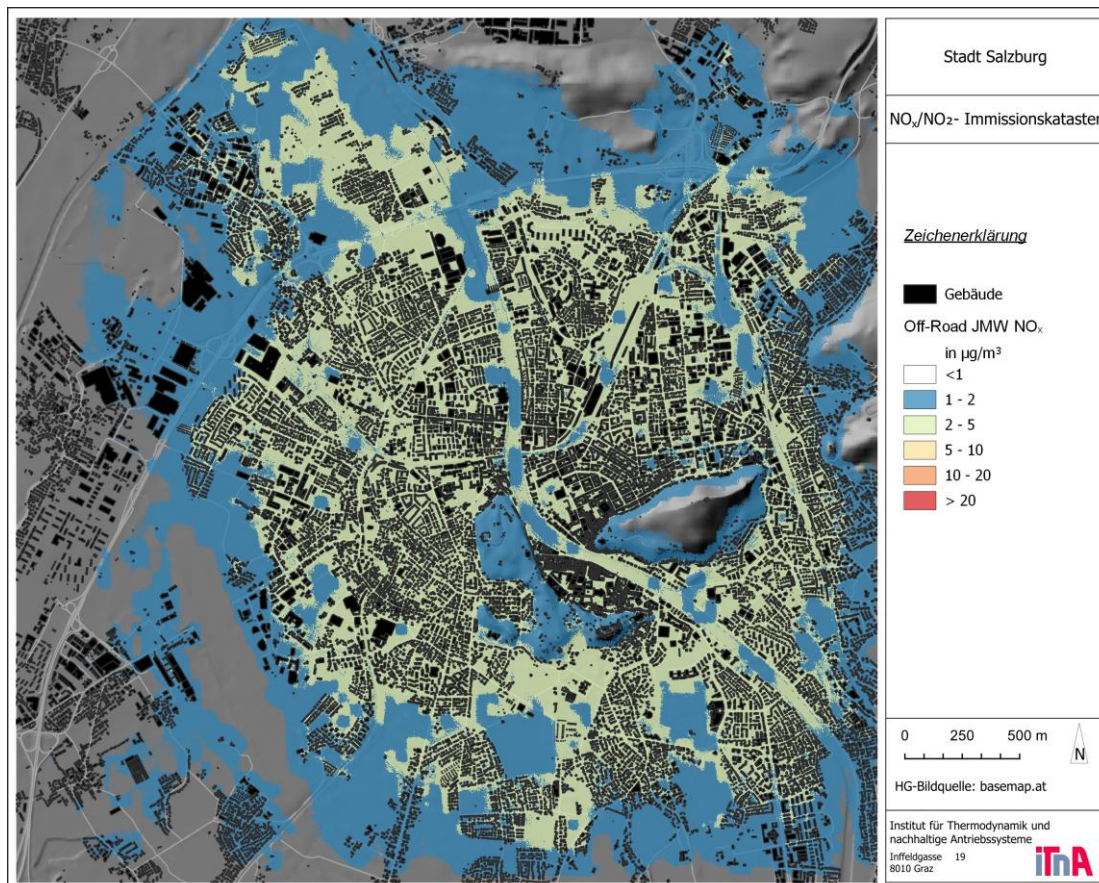


Abbildung 26: Modellierter NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Off-Road (Baumaschinen u. Traktoren)

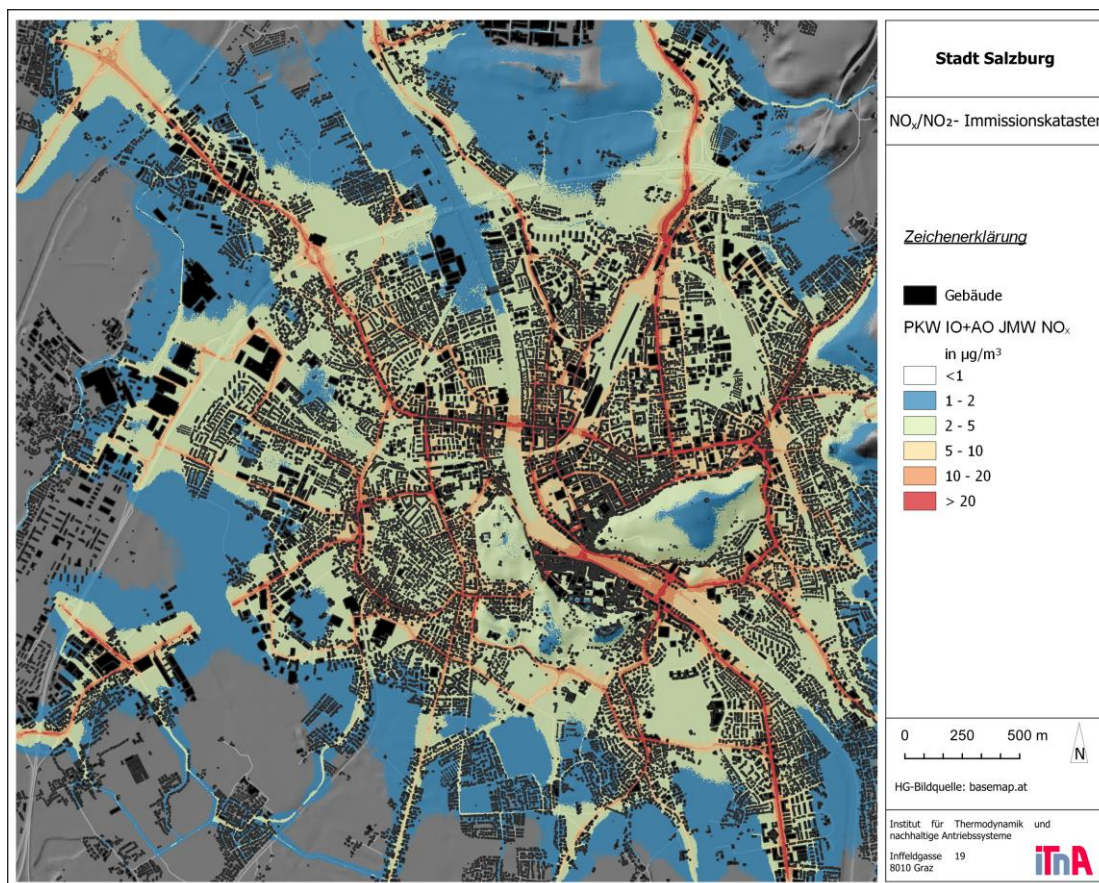


Abbildung 27: Modellierter NO_x-Konzentration im Jahresmittel –PKW IO+AO

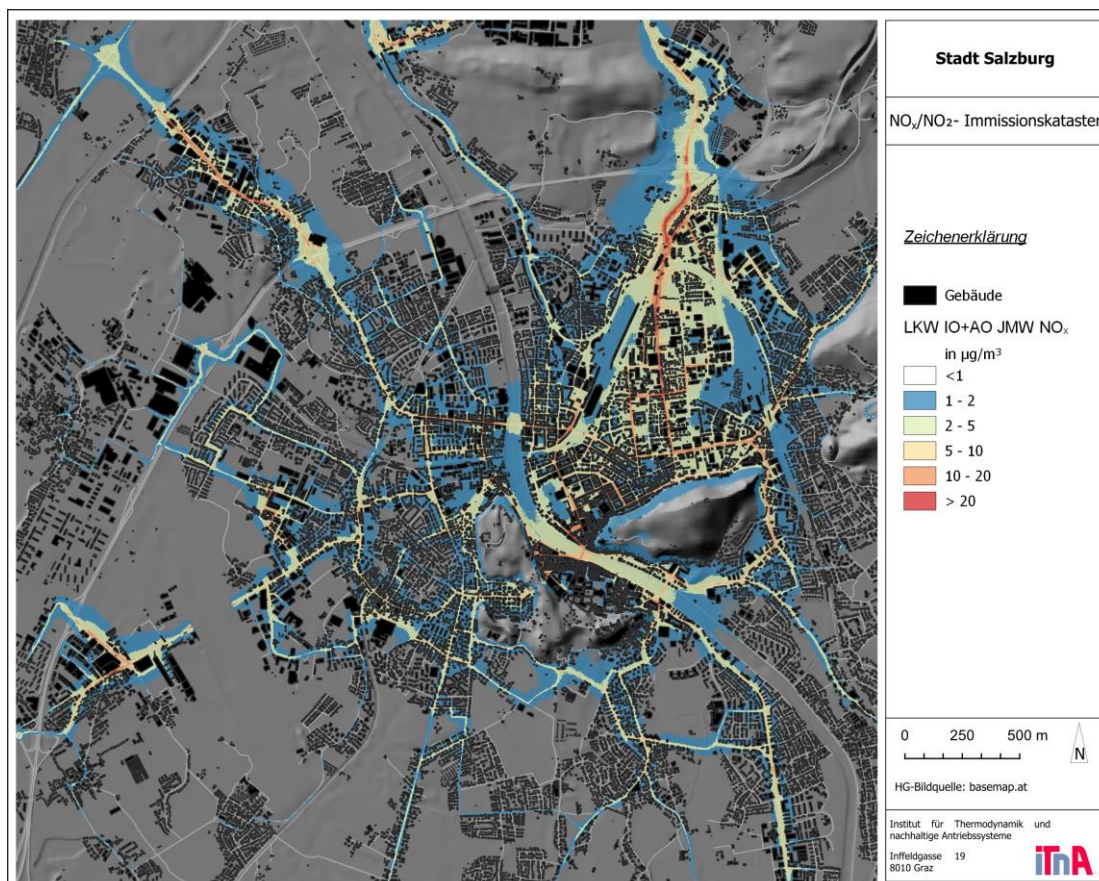


Abbildung 28: Modellierter NO_x-Konzentration im Jahresmittel – LKW IO+AO

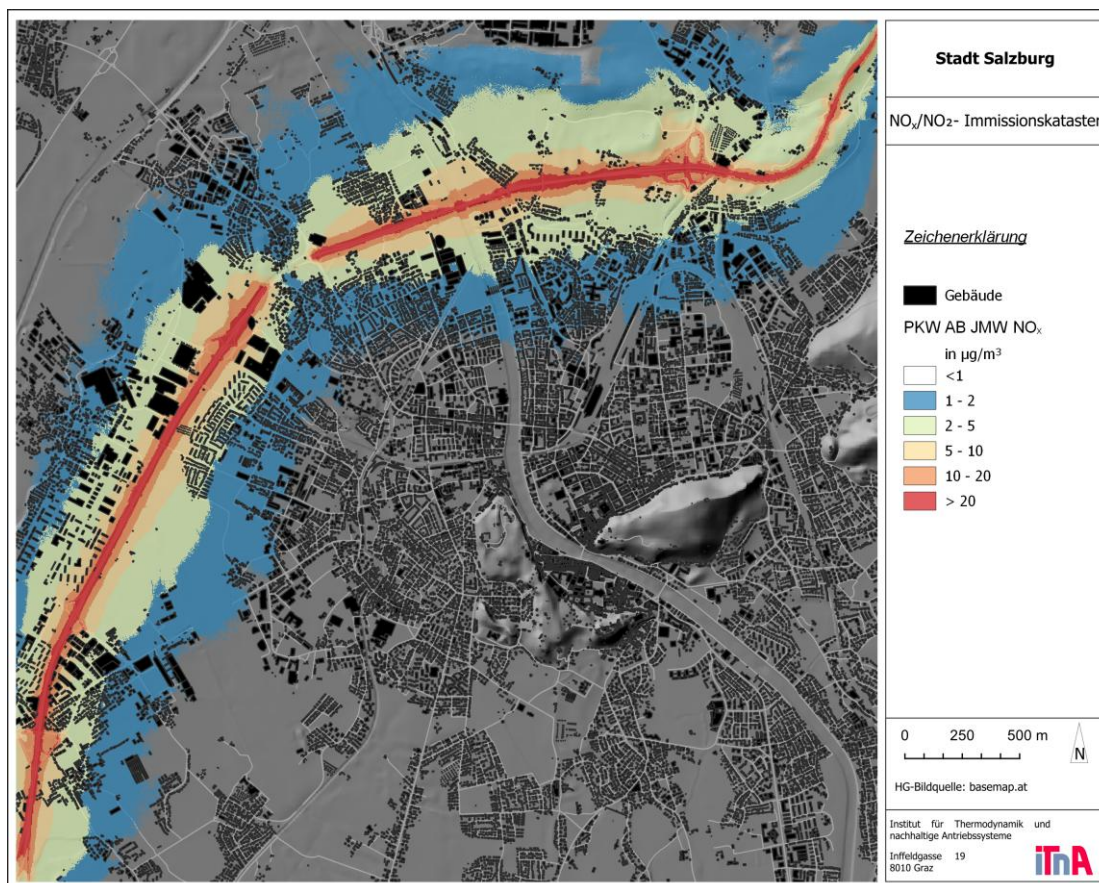


Abbildung 29: Modellierter NO_x-Konzentration im Jahresmittel – PKW-Autobahn

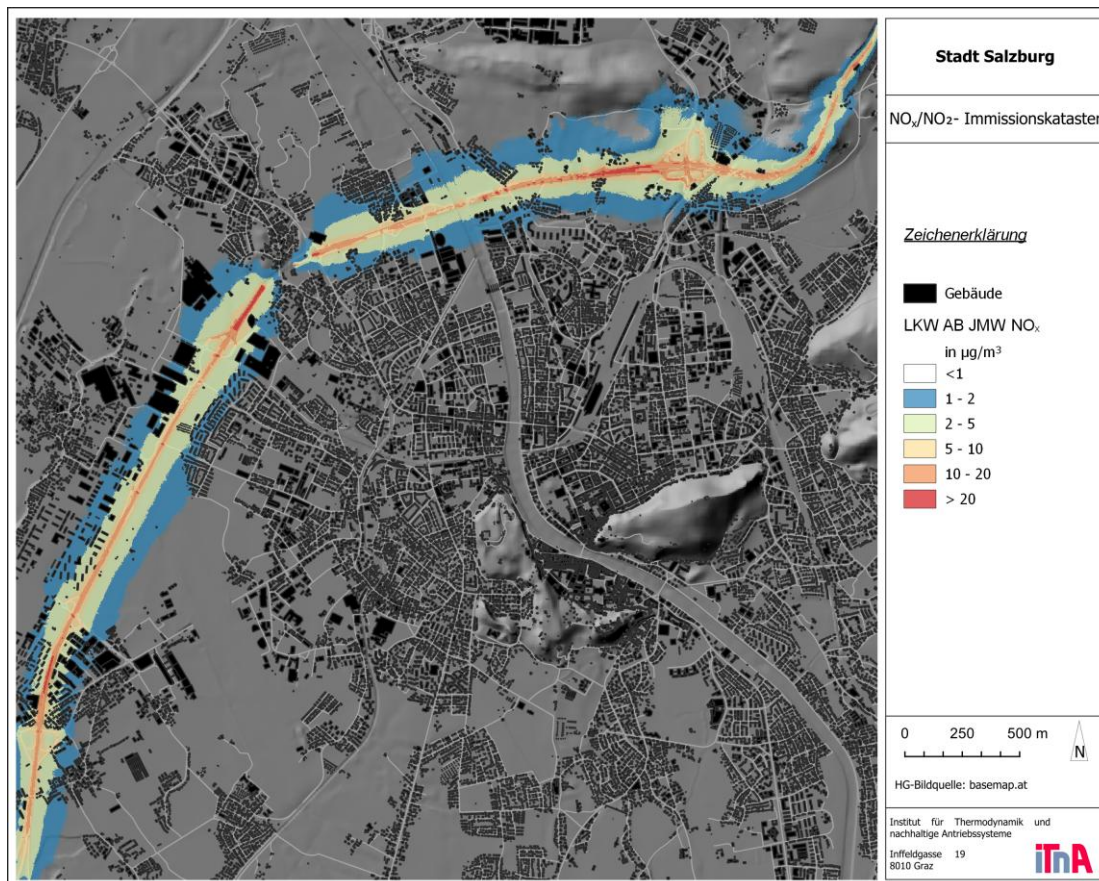


Abbildung 30: Modellierter NO_x-Konzentration im Jahresmittel – LKW-Autobahn

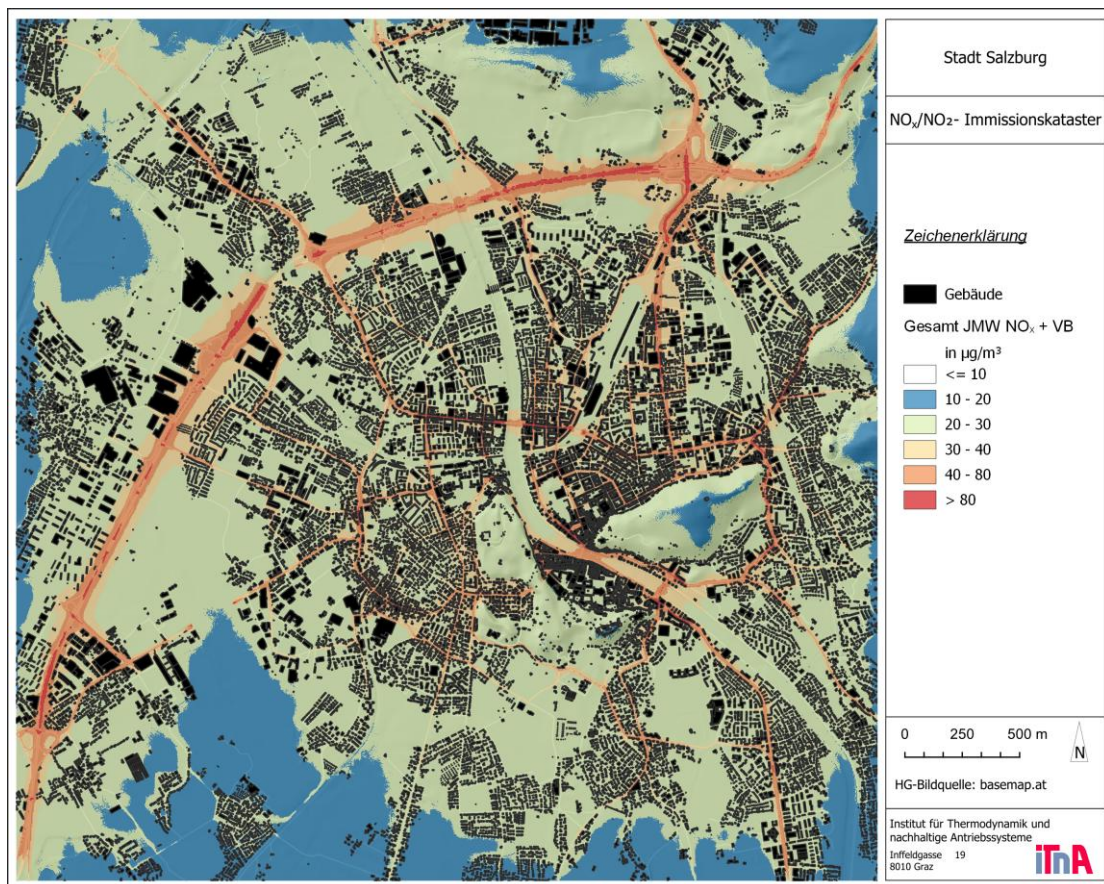


Abbildung 31: Modellierter NO_x -Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inkl. Vorbelastung

6.2.2 Vergleich mit Messdaten

Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen den Vergleich zwischen den errechneten und den gemessenen jahresdurchschnittlichen Werten bei den kontinuierlichen Messstationen für das Jahr 2022. Bei den Stationen Mirabellplatz ergibt sich eine relativ gute Übereinstimmung. Der Vergleich zeigt, dass es beim Rudolfsplatz und bei der Station Lehener Park zu einer Überschätzung durch das Modell kommt. Dabei ist beim Rudolfsplatz zu erwähnen, dass die Messstation inmitten eines mehrspurigen Kreisverkehrs platziert ist und die Verortung der Emissionen das Ergebnis der Simulation am Punkt der Messstation deutlich beeinflusst. Bei der Station Salzburg Autobahn A1 kommt es zu einer leichten Unterschätzung.

Für die Überschätzungen und Unterschätzungen kommen verschiedene Faktoren innerhalb der Rechenkette in Frage (Emissionen, Windfelder, Modellvereinfachungen). Eine genaue Quantifizierung der Einflussfaktoren ist jedoch nicht möglich (siehe Kapitel 7).

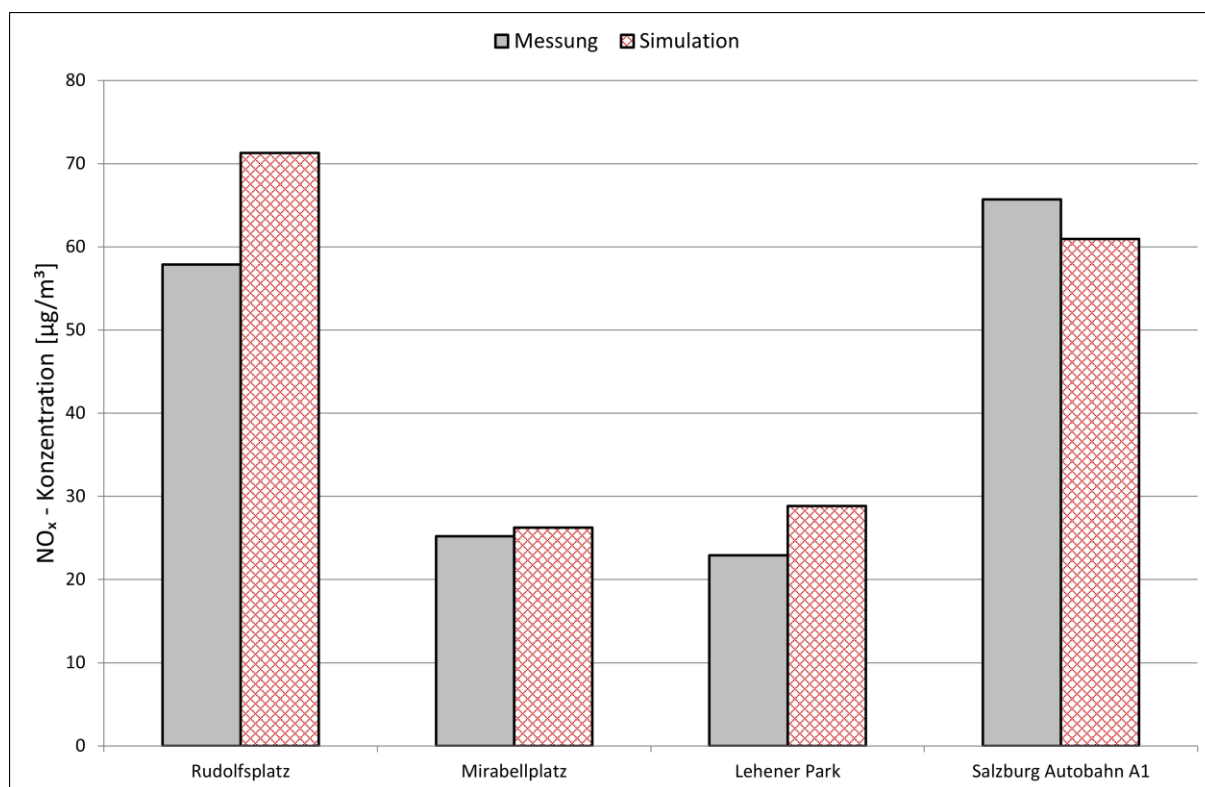


Abbildung 32: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO_x-Jahresmittelwerten (inklusive Vorbelastung)

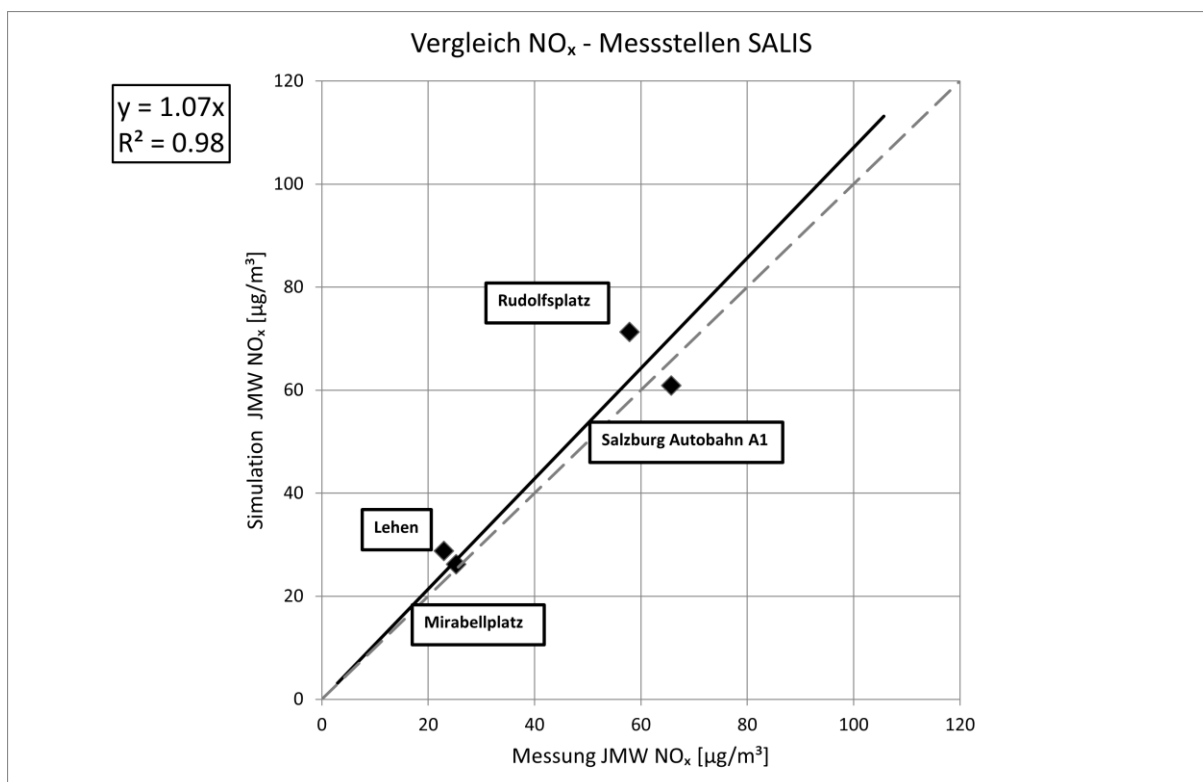


Abbildung 33: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO_x-Jahresmittelwerten (inklusive Vorbelastung)

6.2.3 Quellgruppenanteile

Die modellierten Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen für den Jahresmittelwert an NO_x sind in Abbildung 34 dargestellt. Bei den meisten Stationen ist der Verkehr die dominierende Quelle.

In Abbildung 35 bis Abbildung 38 werden die Quellgruppenanteile an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration für die vier Messstationen aus dem Untersuchungsraum ausgewertet.

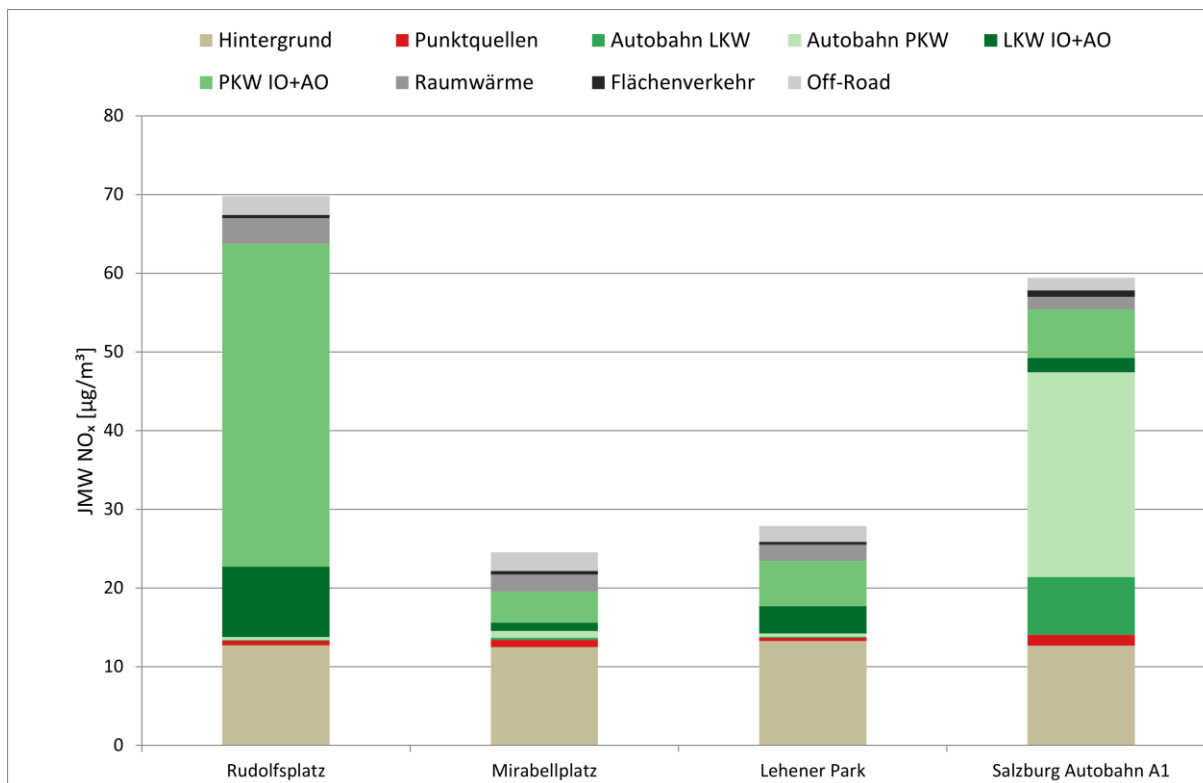


Abbildung 34: Modellierte Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen - JMW NO_x

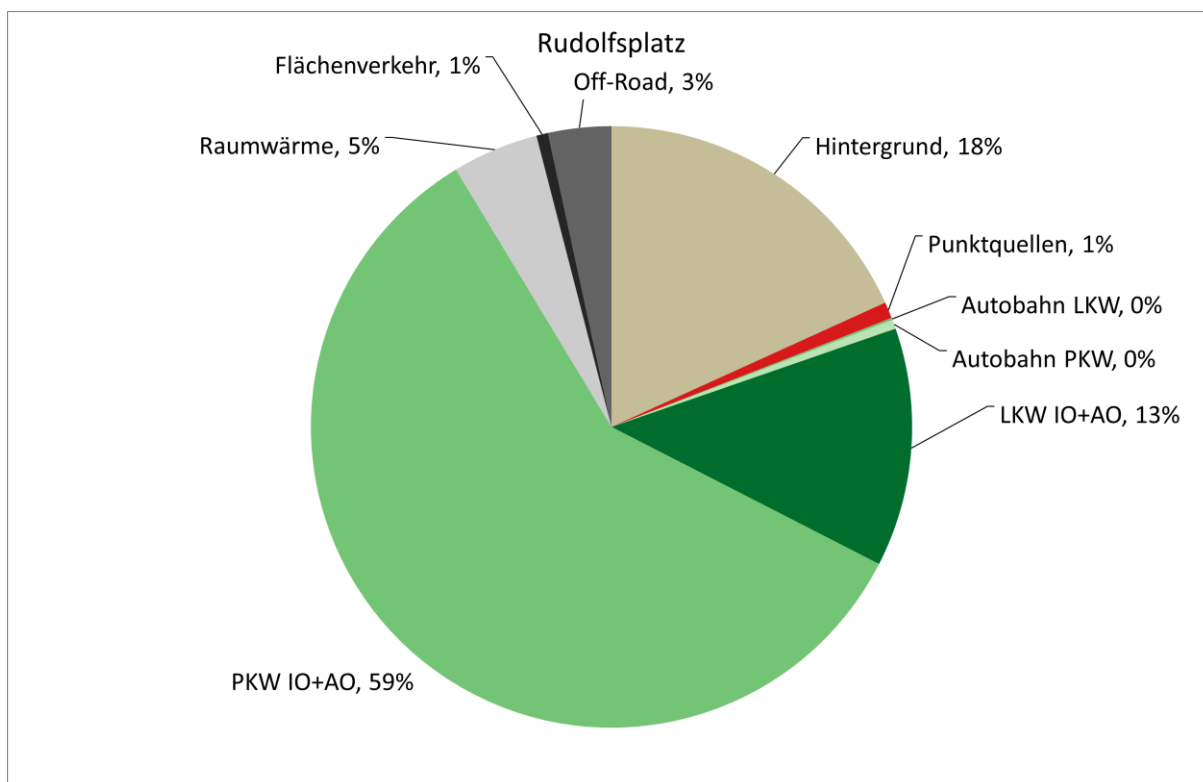


Abbildung 35: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Rudolfsplatz

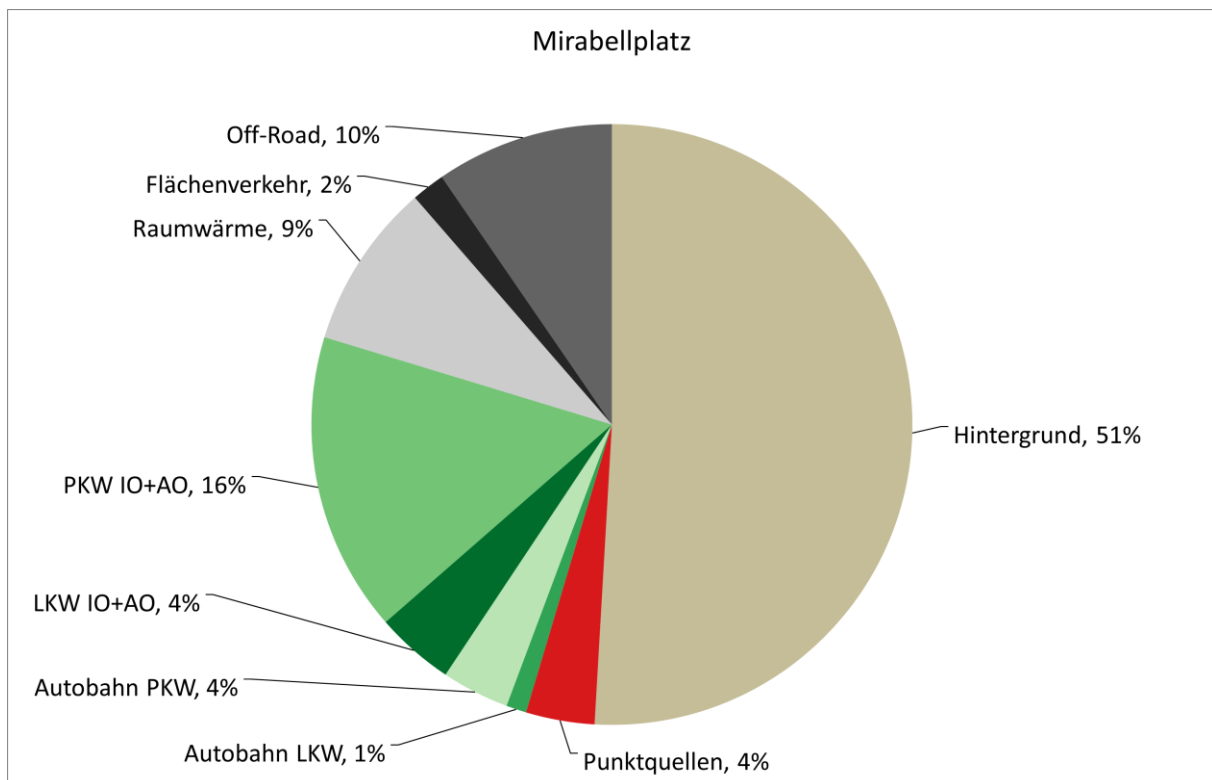


Abbildung 36: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Mirabellplatz

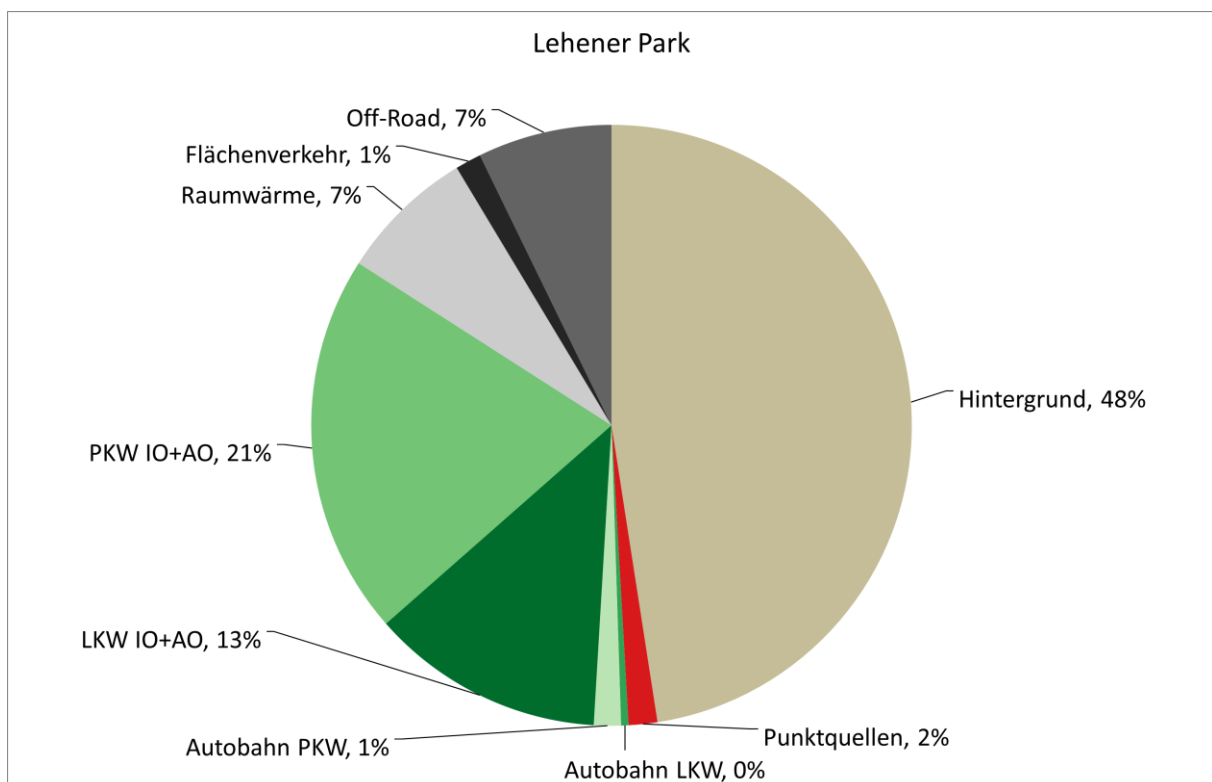


Abbildung 37: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Lehener Park

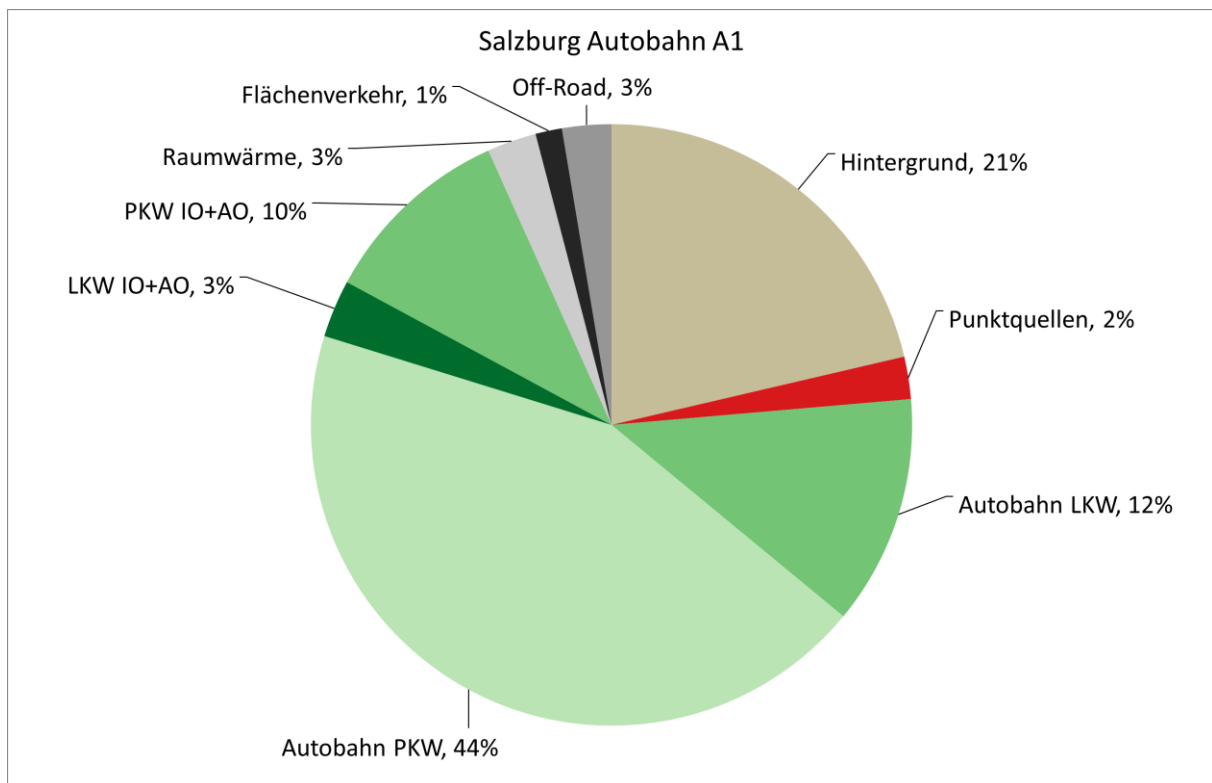


Abbildung 38: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Salzburg Autobahn A1

6.3 Jahresmittelwert Stickstoffdioxid (NO₂)

Zur Berechnung der jahresdurchschnittlichen NO₂-Belastung wurde die Umwandlungsfunktion nach Romberg verwendet (Kapitel 4.3.4).

6.3.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den Jahresmittelwert an NO₂ inklusive der vorhandenen Hintergrundbelastung ist in Abbildung 39 dargestellt. Die höchsten Belastungen treten entlang der West-Autobahn auf. In der Innenstadt liegen die Belastungen größtenteils bei 20 bis 25 µg/m³. Werte von über 40 µg/m³ werden entlang der West-Autobahn und einigen Hauptverkehrsstraßen simuliert.

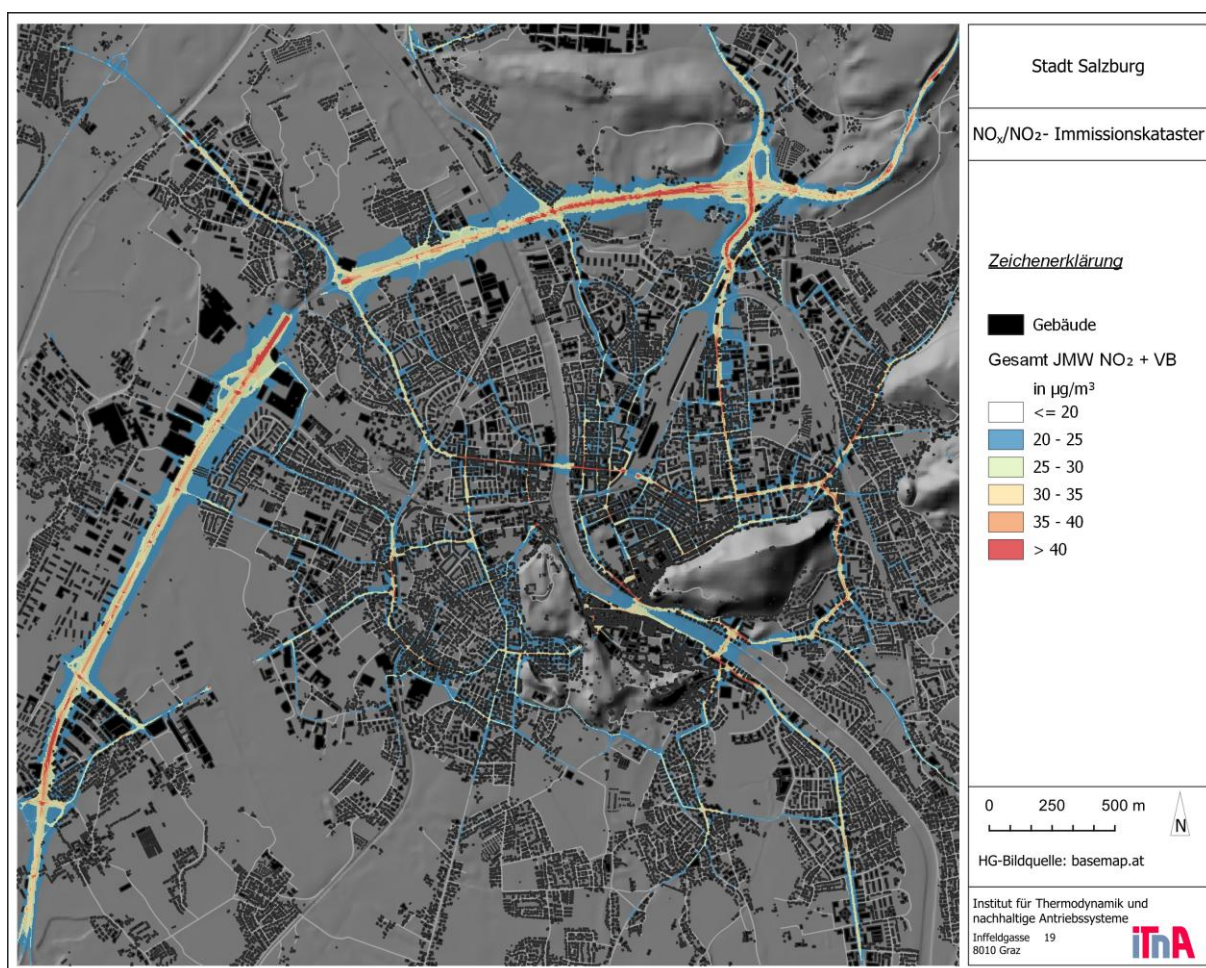


Abbildung 39: Modellerte NO₂-Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung

6.3.2 Vergleich mit Messdaten

In Abbildung 40 und Abbildung 41 werden die berechneten jahresdurchschnittlichen NO₂-Konzentrationen mit den Messwerten der kontinuierlichen Luftgütemessstationen des Jahres 2022 im Untersuchungsgebiet verglichen. Bei der Station Mirabellplatz, Lehener Park und Salzburg Autobahn A1 ergibt sich eine relativ gute Übereinstimmung. Bei der Messstation Rudolfsplatz kommt es zu einer leichten Überschätzung durch das Modell.

Neben den Daten der kontinuierlichen Messstationen standen die Ergebnisse der NO₂-Passivsammler zur Verfügung. In Abbildung 42 und Abbildung 43 werden die Simulationsergebnisse mit diesen Messwerten aus dem Jahr 2022 verglichen. Bei der Mehrheit der Passivsammler kann eine mäßige Übereinstimmung mit dem Modell festgestellt werden. Je nach Standort kommt es zu größeren Unter- und Überschätzungen.

Für die Differenzen zwischen Modell und Messung kommen verschiedene Faktoren innerhalb der Rechenkette in Frage (Emissionen, Windfelder, Modellvereinfachungen). Eine genaue Quantifizierung der Einflussfaktoren ist jedoch nicht möglich (siehe Kapitel 7).

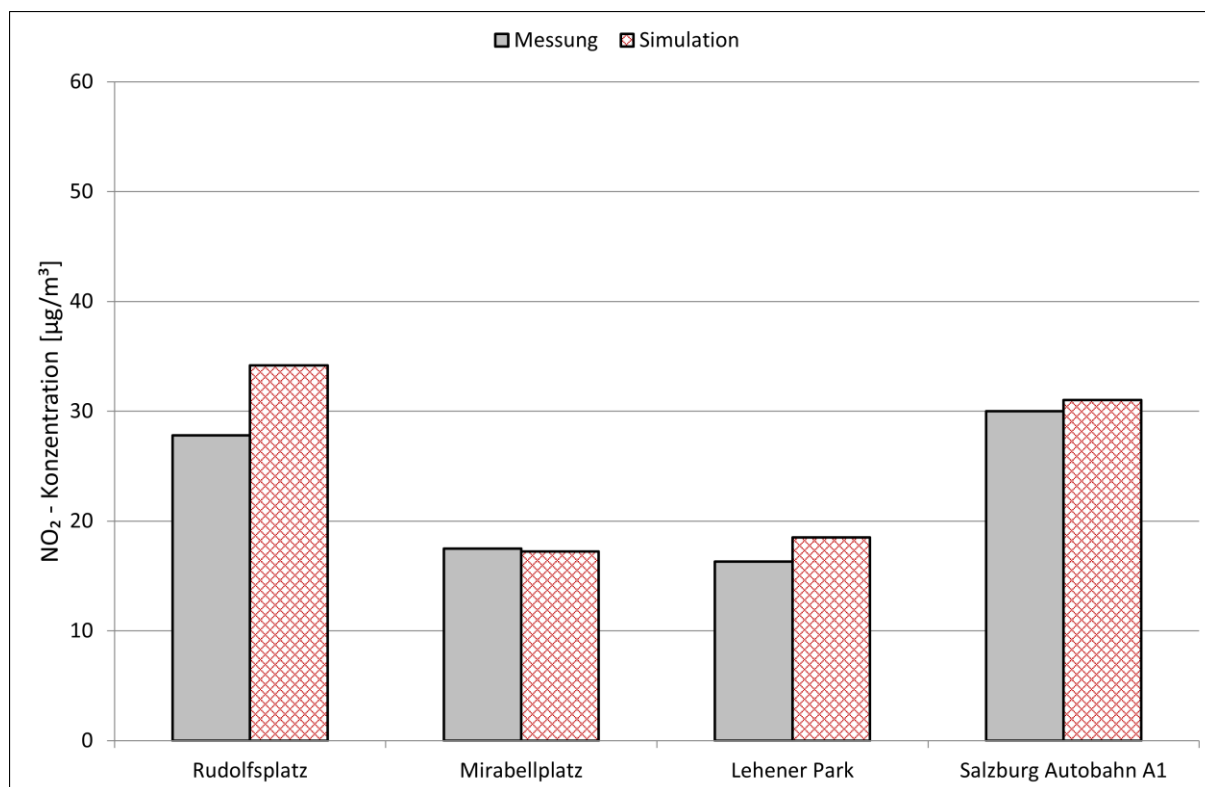


Abbildung 40: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO₂-Jahresmittelwerten

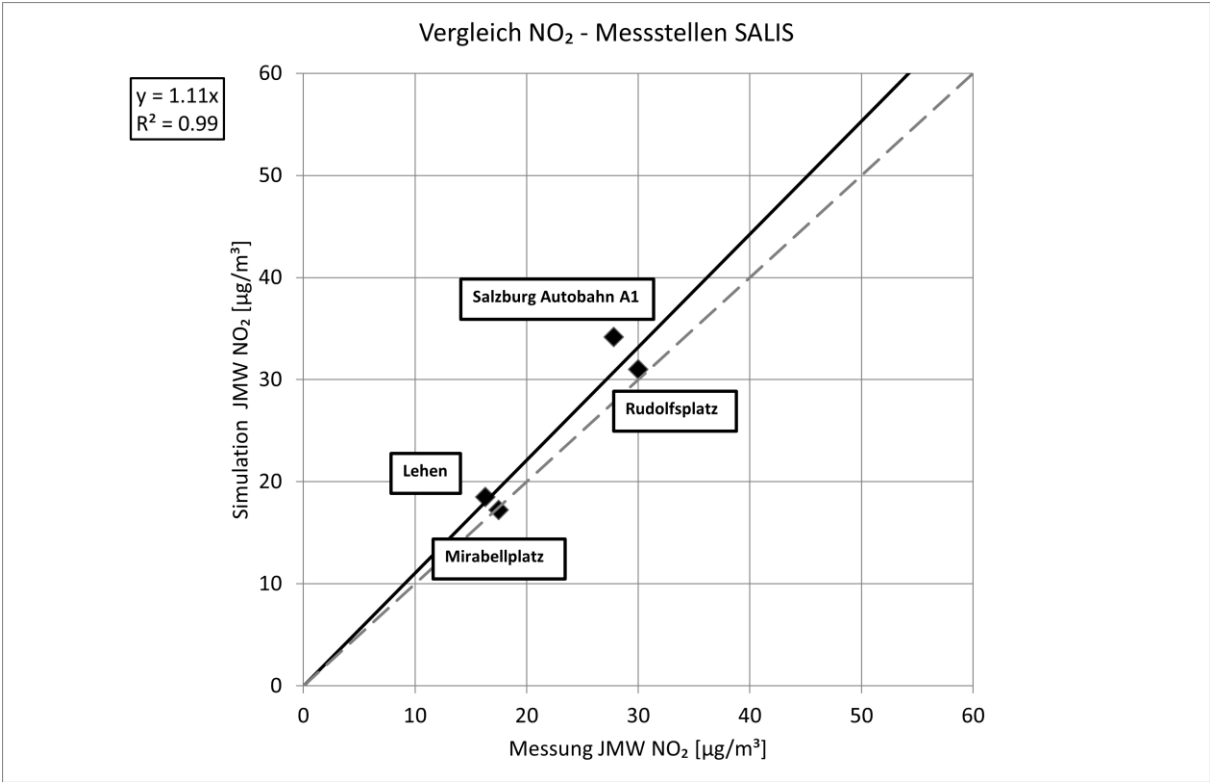


Abbildung 41: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO₂-Jahresmittelwerten

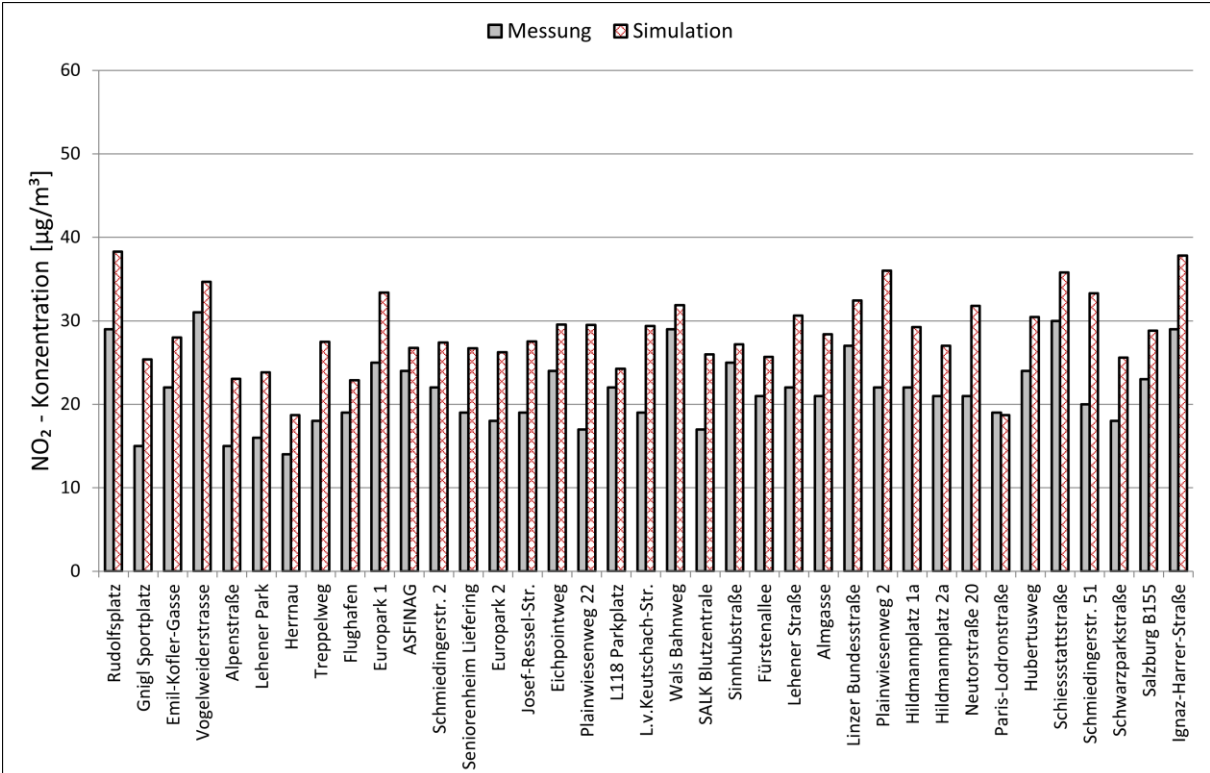


Abbildung 42: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO₂-Jahresmittelwerten - Passivsammler

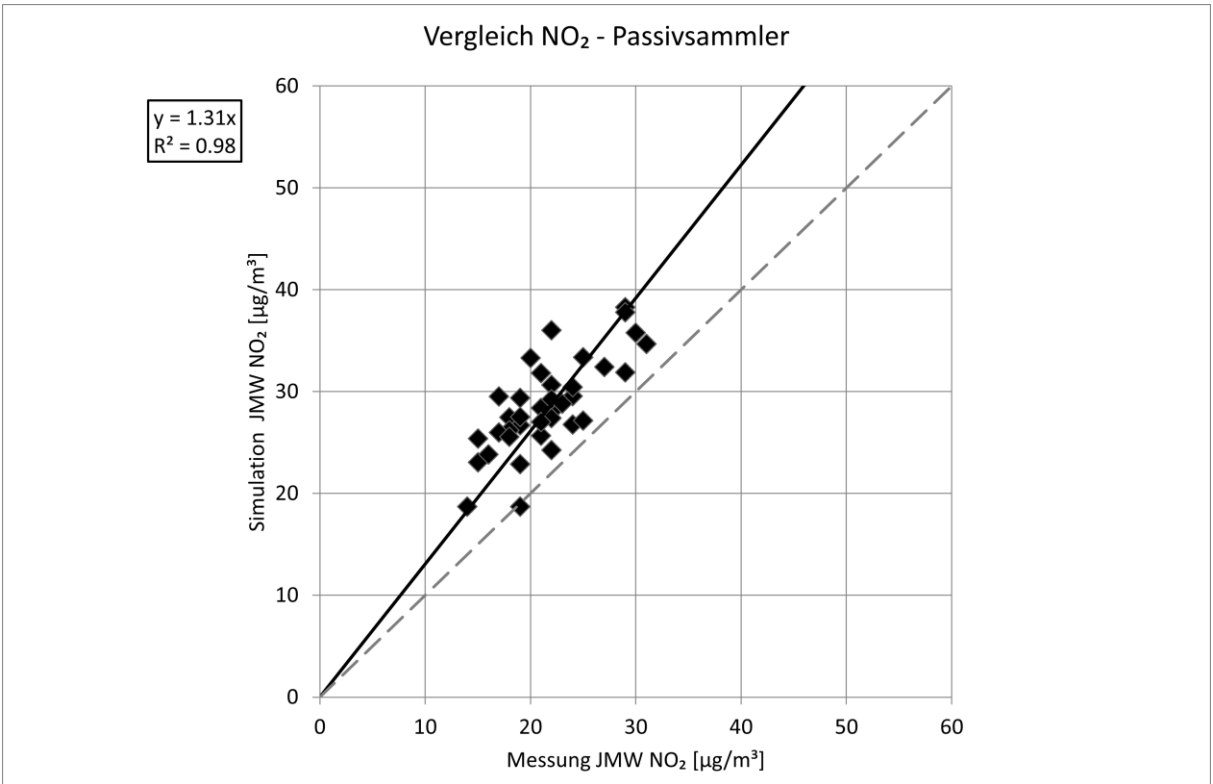


Abbildung 43: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO₂-Jahresmittelwerten - Passivsammler

6.3.3 Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen

Die Ausbreitungsrechnungen können auch dazu verwendet werden, die Flächen auszuwerten, welche von Grenzwertüberschreitungen betroffen sind. Dazu wurde mit Hilfe einer Rasterberechnung die entsprechenden Abstufungen des Jahresmittelwertes abgefragt und prozentual mit der Gesamtfläche verglichen. Dabei ist anzumerken, dass diese Berechnung einer horizontalen Auflösung gemäß der Immissionsberechnung von 5 m zugrunde liegt, über das gesamte Untersuchungsgebiet erfolgt und auch Bereiche miteinbezieht, die nicht einer Grenzwertüberprüfung zu unterziehen sind (z.B. der Straßenraum als Ort der Emissionsfreisetzung selbst). Im Gebiet, das eine Gesamtfläche von rund 56,3 km² aufweist, wird der Wert für den Jahresmittelwert an NO₂ von 30 µg/m³ auf einer Fläche von 3.1 km² überschritten. 35 µg/m³ werden auf einer Fläche von rund 1,1 km² überschritten. Überschreitungen von über 40 µg/m³ werden auf nur knapp 0,3 km² festgestellt. Über 94,5% liegen unter 30 µg/m³ NO₂.

Tabelle 10: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den JMW NO₂

JMW	km ²	Prozent
< 30 [µg/m ³]	53,2	94,5 %
30 -35 [µg/m ³]	2,0	3,6 %
35 -40 [µg/m ³]	0,8	1,4 %
> 40 [µg/m ³]	0,3	0,5 %

6.4 Maximaler Tagesmittelwert an NO_x

6.4.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den maximalen Tagesmittelwert an NO_x ist in Abbildung 44 dargestellt. Die höchsten Belastungen treten entlang der West-Autobahn auf. Flächendeckend wird ein Wert von 100 µg/m³ simuliert.

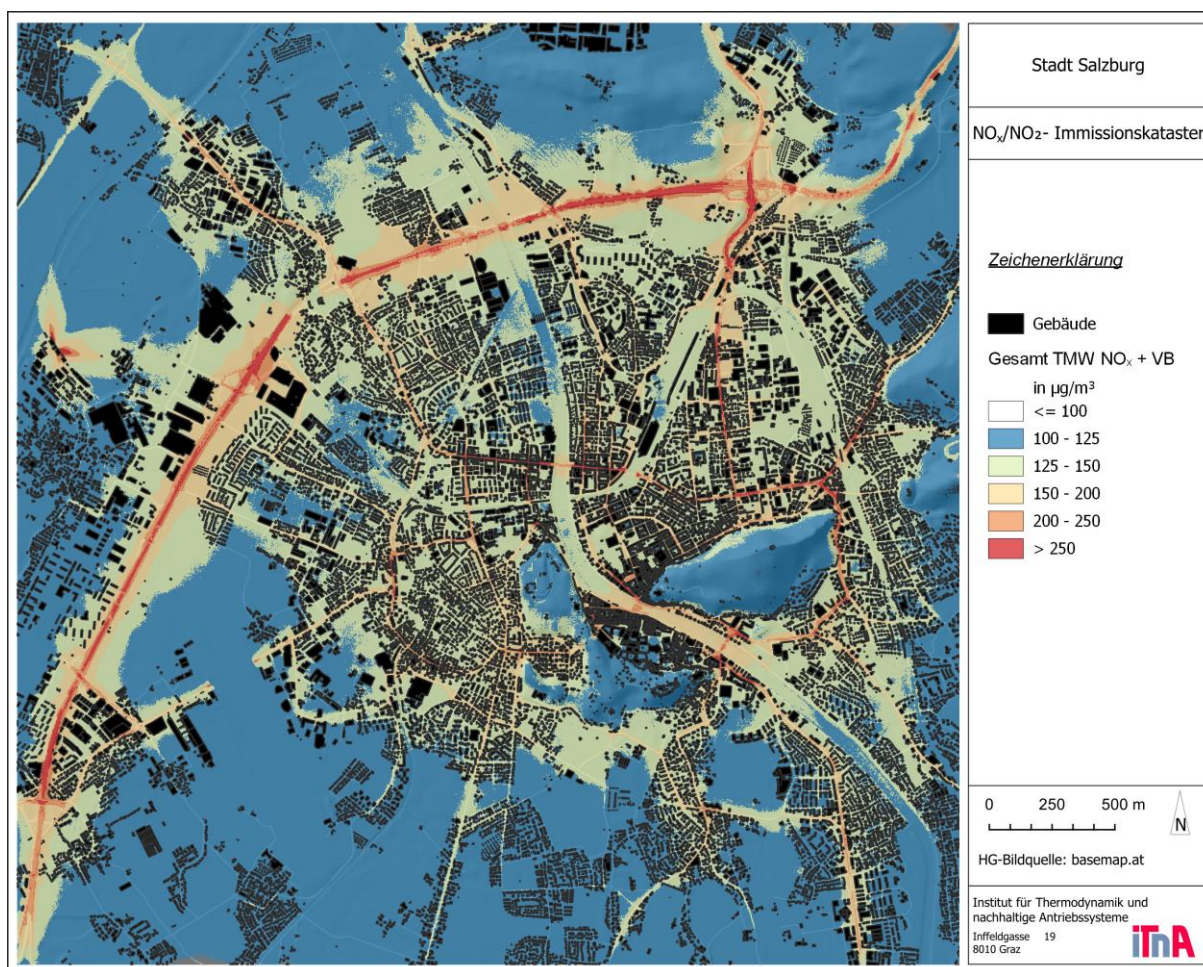


Abbildung 44: Modellierter NO_x-Konzentration für den maximalen Tagesmittelwert – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung

6.4.2 Vergleich mit Messdaten

Abbildung 45 zeigt den Vergleich zwischen den errechneten und den gemessenen Werten für den maximalen Tagesmittelwert an NO_x bei den kontinuierlichen Messstationen für das Jahr 2022. Der Vergleich zeigt, dass es beim Rudolfsplatz und Mirabellplatz zu einer Überschätzung durch das Modell kommt. Bei den anderen beiden Stationen ist eine recht gute Übereinstimmung festzustellen.

Für Abweichungen kommen verschiedene Faktoren innerhalb der Rechenkette in Frage (Emissionen, Windfelder, Modellvereinfachungen). Eine genaue Quantifizierung der Einflussfaktoren ist jedoch nicht möglich (siehe Kapitel 7).

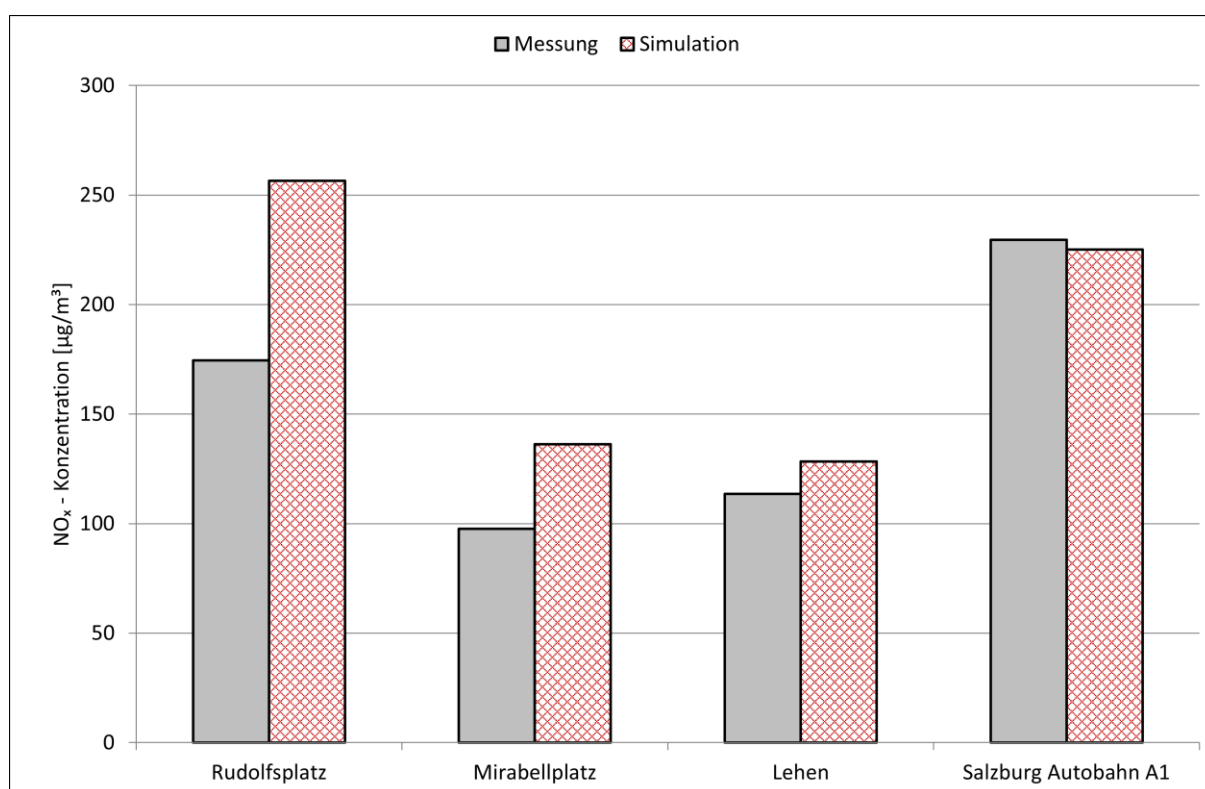


Abbildung 45: Vergleich zwischen gemessenem und modelliertem NO_x-TMW_{max} (inklusive Vorbelastung)

6.5 Maximaler Halbstundenmittelwert an NO₂

Für die Berechnung des maximalen Halbstundenmittelwertes wurde die Methodik aus Kapitel 4.3.5 und die Umwandlungsfunktion für das 98 Perzentil nach Romberg aus Kapitel 4.3.4 verwendet.

6.5.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den maximalen Halbstundenmittelwert an NO₂ ist in Abbildung 46 dargestellt. Die höchsten Belastungen treten entlang der Autobahn und der Tunnelportale auf und erreichen an den Fahrbahnrandern bis zu 200 µg/m³. Entlang von Hauptverkehrsstraßen liegen die Belastungen bei 140 bis 160 µg/m³ und im gesamten Stadtgebiet von Salzburg 100 bis 140 µg/m³.

Addiert man die doppelte Standardabweichung aus Kapitel 4.3.5, so ergeben sich entlang der Autobahn und entlang von innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen Werte über dem Grenzwert von 200 µg/m³. In diesen Bereichen sind Grenzwertüberschreitungen nicht sehr wahrscheinlich, können aber aufgrund von Einzelereignissen nicht ausgeschlossen werden.

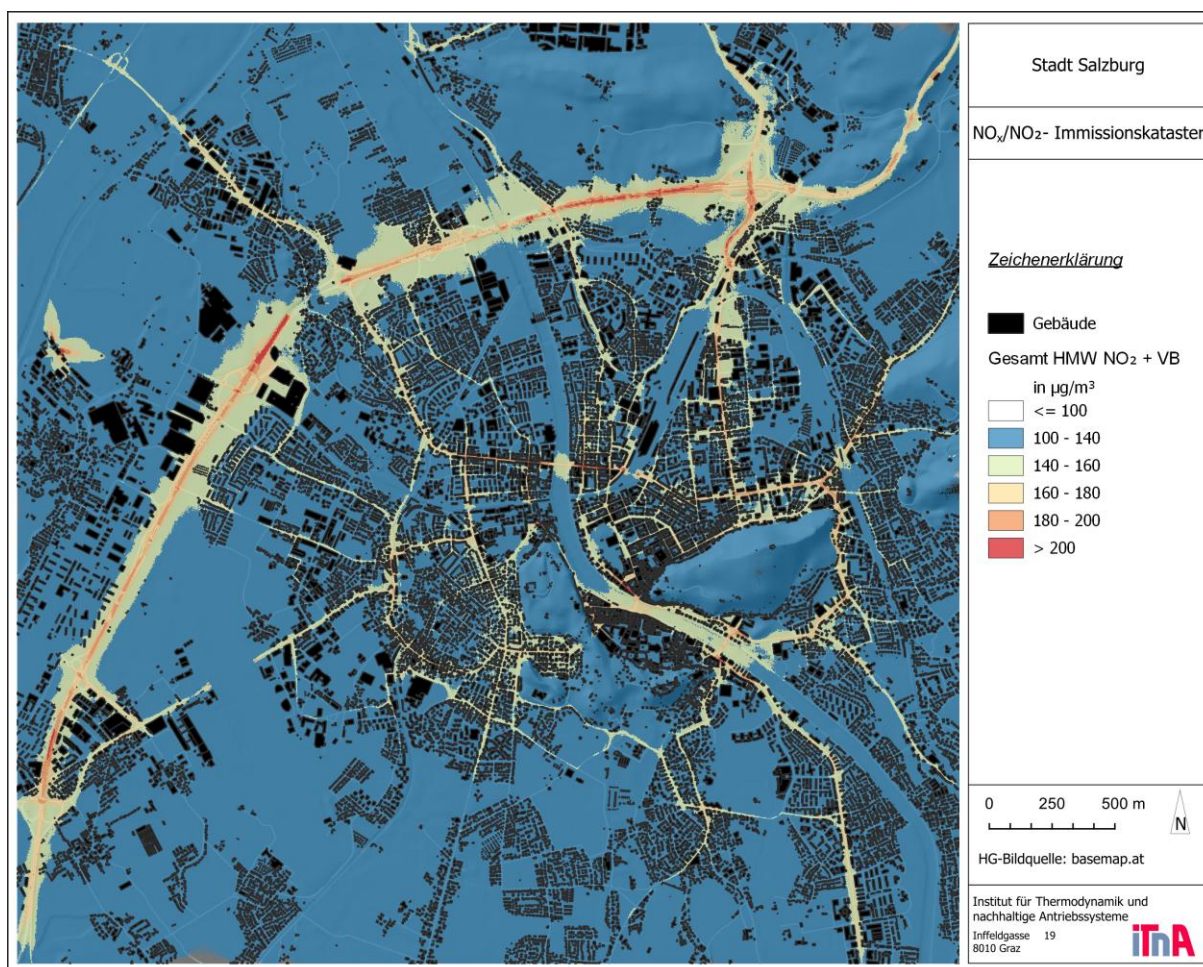


Abbildung 46: Modellierte NO₂-Konzentration für den maximalen Halbstundenmittelwert – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung

6.5.2 Vergleich mit Messdaten

In Abbildung 47 und Abbildung 48 werden die berechneten maximalen NO₂-Konzentrationen mit den Messwerten der kontinuierlichen Luftgütemessstationen im Untersuchungsgebiet verglichen. Bei allen Stationen ergibt sich eine deutliche Überschätzung.

Für diese Abweichungen kommen verschiedene Faktoren innerhalb der Rechenkette in Frage (Emissionen, Windfelder, Modellvereinfachungen). Eine genaue Quantifizierung der Einflussfaktoren ist jedoch nicht möglich (siehe Kapitel 7).

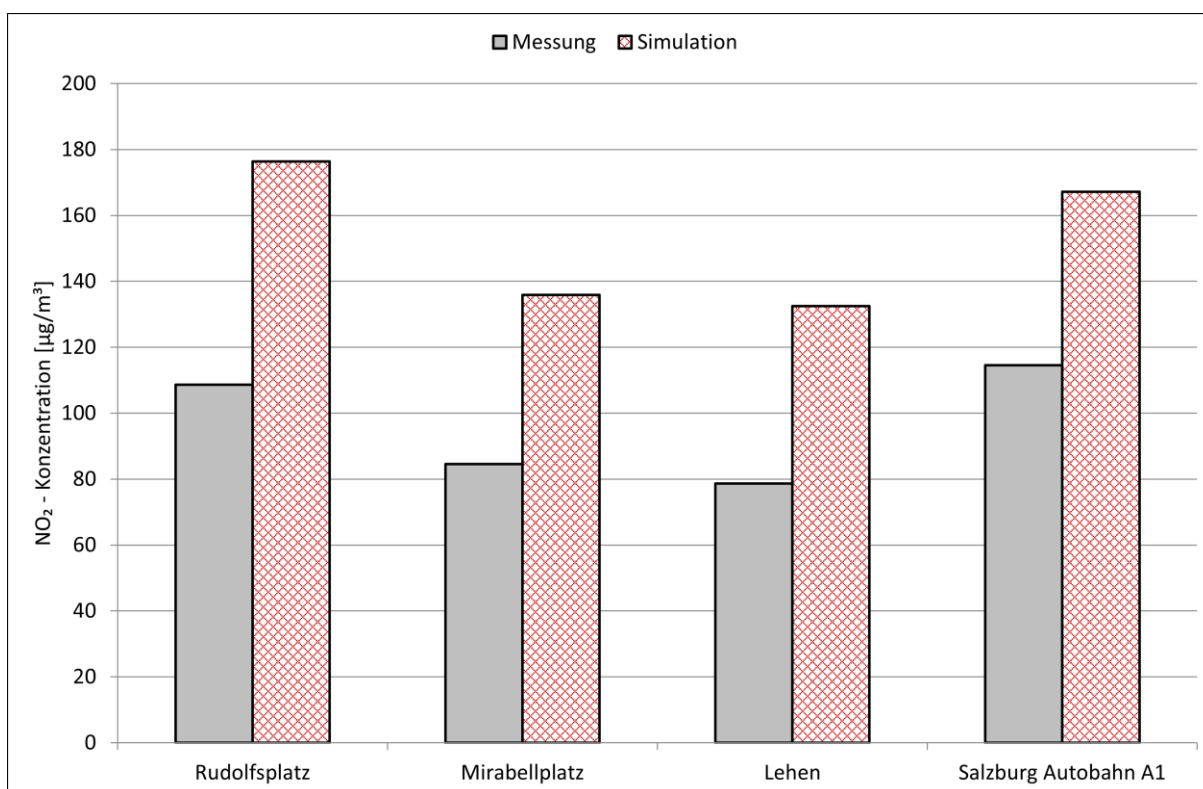


Abbildung 47: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten HMW_{max} NO₂ (inklusive Vorbelastung)

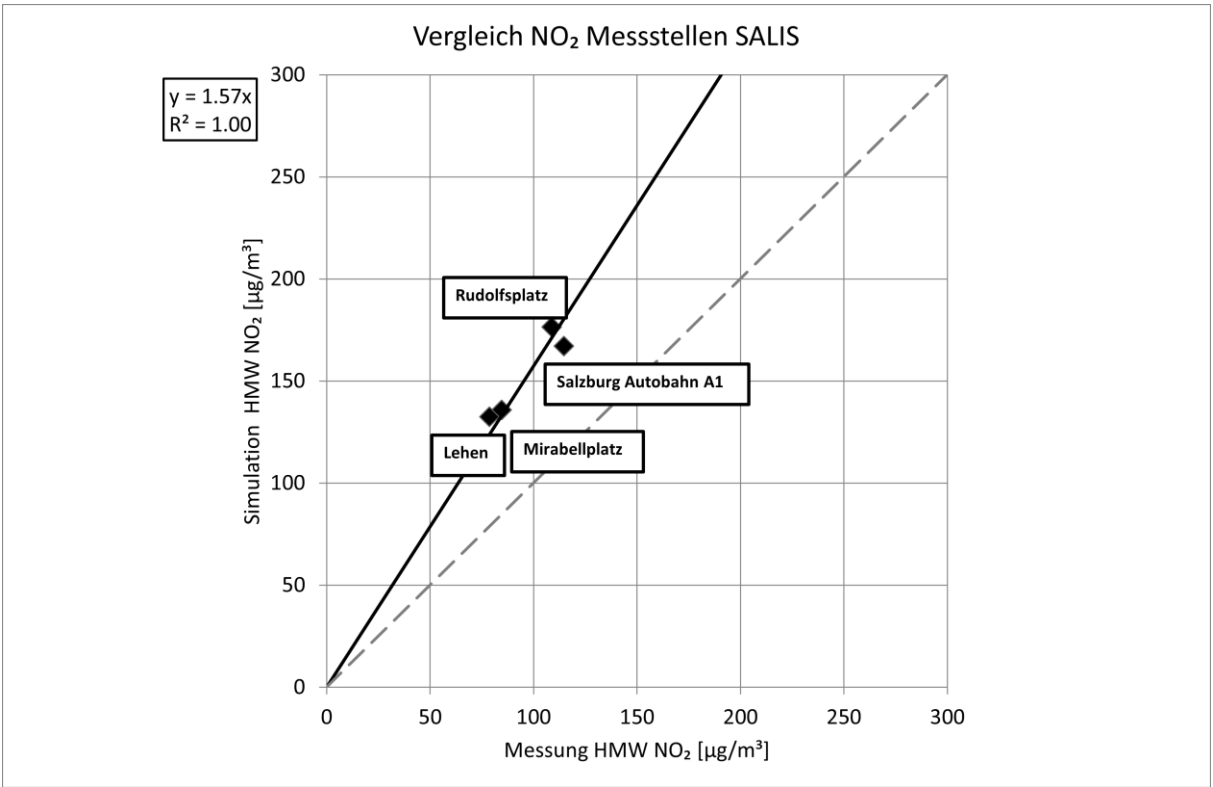


Abbildung 48: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten HMW_{max} NO₂ (inklusive Vorbelastung)

6.5.3 Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen

Die Ausbreitungsrechnungen können auch dazu verwendet werden, die Flächen auszuwerten, welche von Grenzwertüberschreitungen betroffen sind – siehe dazu Kapitel 6.3.3. Im Gebiet Zentralraum, das eine Gesamtfläche von 56.3 km² aufweist, kommt es nur auf einer Fläche von 0.053 km² zu Überschreitungen des Grenzwertes des NO₂ Halbstundenmittelwerts von 200 µg/m³. Diese errechnete Fläche beschränkt sich auf das Gebiet um die beiden Tunnelportale entlang der A1 innerhalb des Straßenraums.

Tabelle 11: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den HMW_{max} NO₂

HMW _{max}	km ²	Prozent
< 200 [µg/m ³]	56,196	99,9 %
> 200 [µg/m ³]	0,053	0,01 %

Anzumerken ist hier jedoch die relativ große Prognoseunsicherheit bei der Bestimmung eines maximalen Halbstundenmittelwerts (Siehe Kapitel 4.3.5).

7 Unsicherheiten bei der Modellierung

Naturgemäß sind Modelle mit Unsicherheiten behaftet. Bei einfacheren physikalischen Zusammenhängen kann man eine Fehlerrechnung durchführen, welche auf der Schwankungsbreite der Eingabeparameter beruht. Bei der Berechnung eines Immissionskatasters wird eine sehr komplexe Modellkette angewendet, wodurch die Unsicherheiten der einzelnen Rechenoperationen nicht genau quantifizierbar sind. Deswegen ist es nur möglich, die Endergebnisse mit Messungen zu vergleichen (= Validierung der Modellkette).

In der vorliegenden Untersuchung ergibt sich aus dem Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Luftgütemessdaten eine geringfügige Unter- bzw. Überschätzung der gesamten Modellkette, wofür verschiedene Faktoren innerhalb der Rechenkette in Frage kommen:

1. Eingangsdaten

Schon die Eingangsdaten wie z.B. meteorologische Messungen, Datenerhebungen für die Emissionsberechnungen, Verkehrszählungen usw. sind mit Unsicherheiten behaftet.

2. Emissionen

Bei der Berechnung der Emissionen werden Annahmen getroffen, welche schwierig quantifizierbar sind: Emissionsfaktoren von Fahrzeugen, Emissionsfrachten von Kaminen, diffuse Staubemissionen usw.

3. Windfelder

Zur Initialisierung der Windfelder wird nur eine geeignete Messstation herangezogen und damit die meteorologische Situation im gesamten Berechnungsgebiet modelliert. Außerdem wird die Messzeitreihe in eine Ausbreitungsklassenstatistik mit klassifizierten Parametern umgewandelt, um die Anzahl der Strömungssituationen zu verringern. Gerade bei großen Berechnungsgebieten mit komplexen meteorologischen Situationen ergeben sich dadurch Unsicherheiten bei der Beschreibung der Ausbreitungssituation. Weiters wurde davon ausgegangen, dass die meteorologische Situation konstant geblieben ist und somit kein neues Windfeld berechnet wurde.

4. Ausbreitungsrechnungen

In einem Ausbreitungsmodell werden verschiedene physikalische Zusammenhänge parametrisiert, z.B. bei der Beschreibung der Turbulenz und der Berechnung der Mischungsschichthöhen. Diese Modellannahmen beinhalten Unsicherheiten.

5. Modellvereinfachungen

Bei jedem Modell müssen Vereinfachungen getroffen werden. Beispielsweise müssen für unbekannte Eingangsdaten (Quellhöhen, Straßenbreiten) plausible Werte abgeschätzt werden.

6. Zeitliche und räumliche Auflösung

Grundsätzlich beträgt die zeitliche Auflösung der Konzentrationsfelder 30 min und die horizontale räumliche Auflösung 5 m. Der Immissionskataster gibt zwar die flächenhafte Verteilung der Luftschadstoffbelastung wieder, für eine detaillierte Beschreibung sind allerdings kleinräumigere Simulationen mit genaueren Eingangsdaten notwendig. Im Allgemeinen ist die Unsicherheit bei der Berechnung von Langzeitmittelwerten wesentlich niedriger als bei der Berechnung von Kurzzeitmittelwerten, da sich Abweichung nach oben und nach unten aufheben können. Vor allem die Berechnung von maximalen Halbstundenmittelwerten ist aufgrund von variierenden Ausbreitungs- oder Umwandlungsbedingungen mit großen Unsicherheiten behaftet.

Insgesamt wird bei der Simulation eines Immissionskatasters versucht, einen „Erwartungswert“ so realistisch wie möglich wiederzugeben. Bei Langzeitwerten liegt die Unsicherheit eines modellierten Immissionsbeitrages bei ca. 25%, bei Kurzzeitmittelwerten kann diese bis zu einem Faktor 2 betragen.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Goger und Kurz, „NOX/NO2-Immissionskataster Stadt Salzburg, Bericht Nr. FVT-35/14/Ku V&U 11/28/6300 V1.0“, Apr. 2014.
- [2] E. Romberg, R. Bösing, A. Lohmeyer, R. Ruhnke, und E. Röth, „NO-NO2-Umwandlung für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase“, *Gefahrstoffe - Reinhalt. Luft*, Bd. 56, Nr. 6, S. 215–218, 1996.
- [3] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, „Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe (Immissionsschutzgesetz – Luft, IG-L), i. d. geltenden Fassung“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011027>
- [4] *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 24. April 1984 über forstschädliche Luftverunreinigungen (Zweite Verordnung gegen forstschädliche Luftverunreinigungen)*. 1984. [Online]. Verfügbar unter: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1984_199_0/1984_199_0.pdf
- [5] Mag. Dr. Dietmar Oettl und Ing. Markus Kuntner, „Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL (Graz Lagrangian Model) V22.09“, 2022.
- [6] „RVS 04.02.12 - Ausbreitung von Luftschadstoffen an Verkehrswegen und Tunnelportalen“, Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Wien, Okt. 2020.
- [7] Amt der Salzburger Landesregierung, „Luftgüte - Jahresbericht 2019“, 2020.
- [8] Amt der Salzburger Landesregierung, „Luftgüte - Jahresbericht 2020“, 2021.
- [9] Amt der Salzburger Landesregierung, „Luftgüte - Jahresbericht 2021“, 2022.
- [10] Amt der Salzburger Landesregierung, „Luftgüte - Jahresbericht 2022“, 2023.
- [11] Amt der Salzburger Landesregierung, „Luftgüte - Jahresbericht 2023“, 2024.
- [12] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Lufthygienischer Jahresbericht 2019“, Apr. 2021.
- [13] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Lufthygienischer Jahresbericht 2020“, Sep. 2021.
- [14] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Lufthygienischer Jahresbericht 2021“, Okt. 2022.
- [15] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Lufthygienischer Jahresbericht 2022“, Nov. 2023.
- [16] Bayerisches Landesamt für Umwelt, „Lufthygienischer Jahresbericht 2023“, Okt. 2024.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modellierter NO ₂ -Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung	6
Abbildung 2: Untersuchungsraum für den Immissionskataster Salzburg Stadt und umliegender Gemeinden	8
Abbildung 3: Übersicht von GRAMM- und GRAL-Gebiet für den Immissionskataster Salzburg	9
Abbildung 4: Relativer Tagesgang der Emissionsquellen	12
Abbildung 5: Relativer Jahresgang der Emissionsquellen	12
Abbildung 6: NO _x zu NO ₂ Umwandlung für die Messungen am Rudolfsplatz, Mirabellplatz, im Lehen Park und bei der Autobahn A1	15
Abbildung 7: Empirischer Zusammenhang zwischen 98 Perzentil NO ₂ und dem maximalen Halbstundenmittelwert von NO ₂ [6]	16
Abbildung 8: Übersicht meteorologische Messstellen	19
Abbildung 9: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Flughafen	19
Abbildung 10: Mittlere Windrichtungsverteilung nach Windgeschwindigkeitsklassen [%] am Standort Salzburg Flughafen	20
Abbildung 11: Mittlere Häufigkeit der Hauptwindrichtungen am Standort Salzburg Flughafen	20
Abbildung 12: Permanente Luftgütestationen im Untersuchungsgebiet des Salzburger Luftgüte Informations Systems (SALIS)	21
Abbildung 13: Position der Passivsammler im Jahr 2022 im Untersuchungsgebiet.	23
Abbildung 14: Anteil der Quellgruppen an den NO _x -Emissionen im Untersuchungsgebiet ...	26
Abbildung 15: Anteil der Quellkategorien an den NO _x -Emissionen im gesamten Untersuchungsgebiet	26
Abbildung 16: NO _x -Punktquellen im Untersuchungsgebiet	27
Abbildung 17: NO _x -Linienquellen und NO _x -Emission aus dem Flächenverkehr im Untersuchungsgebiet.	28
Abbildung 18: NO _x -Flächenquellen für Raumwärme und Off-Road im Untersuchungsgebiet	28
Abbildung 19: Windrose Flughafen Salzburg, Vergleich Messung gegen Simulation	29
Abbildung 20: Windrose Kapuzinerberg, Vergleich Messung gegen Simulation	29
Abbildung 21: Windgeschwindigkeitsklassen Flughafen Salzburg, Vergleich Messung gegen Simulation	30

Abbildung 22: Windgeschwindigkeitsklassen Kapuzinerberg, Vergleich Messung gegen Simulation	30
Abbildung 23: Modellierte NO _x -Zusatzkonzentration im Jahresmittel – Punktquellen.....	32
Abbildung 24: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - Flächenverkehr	32
Abbildung 25: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Raumwärme der Kleinverbraucher	33
Abbildung 26: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Off-Road (Baumaschinen u. Traktoren).....	33
Abbildung 27: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel –PKW IO+AO	34
Abbildung 28: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – LKW IO+AO	34
Abbildung 29: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – PKW-Autobahn	35
Abbildung 30: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – LKW-Autobahn.....	35
Abbildung 31: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inkl. Vorbelastung.....	36
Abbildung 32: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO _x - Jahresmittelwerten (inklusive Vorbelastung)	37
Abbildung 33: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO _x - Jahresmittelwerten (inklusive Vorbelastung)	38
Abbildung 34: Modellierte Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen - JMW NO _x	39
Abbildung 35: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Rudolfsplatz	39
Abbildung 36: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Mirabellplatz	40
Abbildung 37: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Lehenner Park.....	40
Abbildung 38: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Salzburg Autobahn A1.....	41
Abbildung 39: Modellierte NO ₂ -Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung	42
Abbildung 40: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO ₂ - Jahresmittelwerten	43
Abbildung 41: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO ₂ - Jahresmittelwerten	44
Abbildung 42: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO ₂ - Jahresmittelwerten - Passivsammler	44
Abbildung 43: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO ₂ - Jahresmittelwerten - Passivsammler	45

Abbildung 44: Modellierte NO _x -Konzentration für den maximalen Tagesmittelwert – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung.....	46
Abbildung 45: Vergleich zwischen gemessenem und modelliertem NO _x -TMW _{max} (inklusive Vorbelastung).....	47
Abbildung 46: Modellierte NO ₂ -Konzentration für den maximalen Halbstundenmittelwert – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung.....	48
Abbildung 47: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten HMW _{max} NO ₂ (inklusive Vorbelastung).....	49
Abbildung 48: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten HMW _{max} NO ₂ (inklusive Vorbelastung).....	50

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Freisetzungshöhen der Flächenquellen	11
Tabelle 2: Immissionsgrenzwerte nach IG-L in µg/m ³ (ausgenommen CO: angegeben in mg/m ³ ; Arsen, Kadmium, Nickel, Benzo(a)pyren: angegeben in ng/m ³)	13
Tabelle 3: Grenzwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation [4] in µg/m ³	13
Tabelle 4: Parameter für die NO ₂ -Umwandlungsfunktion abgeleitet aus österreichischen Datensätzen.....	15
Tabelle 5: Definition der Quellgruppen	17
Tabelle 6: Gemessene NO ₂ -Konzentrationen in Salzburg	22
Tabelle 7: Ergebnisse der Passivsammlermessungen für das Jahr 2022	24
Tabelle 8: Messwerte der Station Mehring (Bayern) für die Jahre 2019 bis 2023.	25
Tabelle 9: NO _x -Emissionen im gesamten Untersuchungsgebiet.....	25
Tabelle 10: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den JMW NO ₂	45
Tabelle 11: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den HMW _{max} NO ₂	50
Tabelle 12: Parameter für die Ausbreitungsrechnung	58

11 Anhang

11.1 Parameter für die Ausbreitungsmodellierung

Tabelle 12: Parameter für die Ausbreitungsrechnung

Project - General	
Dispersion time	3600 s
Particles per sec.	1500 Punktquellen/800 pro Flächen- u. Linienquellen
Surface roughness	landuse.asc
Latitude	47 °
Buildings	Prognostic GRAL
Project - Concentration grids	
Vertical thickness of concentration layers	2 m
Horizontal grid resolution	5.0 m
Number of horizontal slices	1
Heights above ground	3 m
Domain - GRAL	
West Border	423465 m
East Border	431035 m
South Border	292970 m
North Border	300525 m
Width	7570 m
Height	7555 m
Domain - Internal flow field grid GRAL	
Horizontal grid resolution	5.0 m
Vertical thickness of first layer	2.0 m
Vertical stretching factor	1.0
Number of cells in z-direction	40
Relative layer height	99.8 m
Relaxation velocity	0.1
Relaxation pressure correct.	1.0
Run until steady-state	No
Minimum iterations	100
Maximum iterations	500
Roughness of building walls	0.001 m
Write building_heights.txt	No
Save intermediate GRAL flow fields	Yes
Topography - GRAMM domain	
West Border	420000 m
East Border	443000 m
South Border	269000 m
North Border	311000 m
Width	23.0 km
Height	42.0 km
Topography - GRAMM grid	
Horizontal grid resolution	250.0 m
Vertical thickness of first layer	10 m
Number of vertical layers	17
Vertical stretching factor	1.4
Relative layer height	7607.8 m

Topography - GRAMM input	
GRAMM grid	ggeom.asc
Landuse file	landuse.asc
Max time step	10 s
Modelling time	3600 s
Relaxation velocity	0.15
Relaxation scalars	0.15
Catabatic forcing	Yes
Write GRAL_Topography.txt	Yes
Deposition	
Dry deposition	No
Wet Deposition	No
Wet deposition cW setting	0.0
Wet deposition alphaW setting	0.0
Decay rate for all source groups	0.0
Weather Situations	
Number of weather situations	936
Number of calculated weather situations	936
Sources	
1	Prozesswaerme
2	Waermeversorgung
3	andere-PKW
4	andere-LKW
5	AB-PKW
6	AB-LKW
7	Raumwaerme
8	Off-Road
9	Verkehr-Flaeche
Selected Pollutant	NO _x