



Forschungsgesellschaft für
Verbrennungskraftmaschinen und
Thermodynamik mbH

NO_x/NO₂-Immissionskataster

Stadt Salzburg

Erstellt im Auftrag der

Stadt Salzburg

Magistrat Salzburg

Abteilung 5/03 Amt für
Stadtplanung und Verkehr

Bericht Nr. FVT-35/14/Ku V&U 11/28/6300 V1.0 vom 01.04.2014

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.



NO_x/NO₂-Immissionskataster

Stadt Salzburg

Fachbereich: Verkehr & Umwelt

Inffeldgasse 21A A-8010 Graz

Tel.: +43 (0) 316-873-30201

Geprüft	Sturm	01.04.2014	
Erstellt	Goger/Kurz	01.04.2014	

Bericht Nr. FVT-35/14/Ku V&U 11/28/6300 V1.0 vom 01.04.2014

1	ZUSAMMENFASSUNG	5
2	AUFGABENSTELLUNG	7
3	UNTERSUCHUNGSRAUM UND -ZEIT	8
4	UNTERSUCHUNGSMETHODIK	9
4.1	Gebäudedaten	9
4.2	Methodik Emissionen	9
4.2.1	Punktquellen	9
4.2.2	Linienquellen	10
4.2.3	Flächenquellen	11
4.2.4	Ganglinien der Emissionen	12
4.3	Methodik Immissionen	13
4.3.1	Grenzwerte	13
4.3.2	Berechnung der Immissionsbelastungen	14
4.3.3	Eingangsparameter	14
4.3.4	Zeitliche und räumliche Auflösung	15
4.3.5	Gebäudeumströmung	15
4.3.6	NO-NO ₂ Umwandlung	15
4.3.7	Berechnung des max. HMW bei NO ₂	16
5	BESCHREIBUNG DER EINGANGSDATEN	18
5.1	Meteorologie	18
5.2	Luftgüte	22
5.2.1	Kontinuierliche Messstationen	22
5.2.2	Ergebnisse der Messungen mit Passivsammler	25
5.2.3	Vertikale Abhängigkeit der Vorbelastung	26
5.3	Emissionen	28
6	SIMULATIONEN	34
6.1	Strömungsmodellierung	34
6.2	Jahresmittelwert Stickstoffmonoxid (NO_x)	37
6.2.1	Simulationsergebnisse	37
6.2.2	Vergleich mit Messdaten	47
6.2.3	Quellgruppenanteile	49

6.3	Jahresmittelwert Stickstoffdioxid (NO₂)	52
6.3.1	Simulationsergebnisse	52
6.3.2	Vergleich mit Messdaten	54
6.3.3	Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen	57
6.4	Maximaler Tagesmittelwert an NO_x	58
6.4.1	Simulationsergebnisse	58
6.4.2	Vergleich mit Messdaten	59
6.5	Maximaler Halbstundemittelwert an NO₂	61
6.5.1	Simulationsergebnisse	61
6.5.2	Vergleich mit Messdaten	63
6.5.3	Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen	65
7	UNSICHERHEITEN BEI DER MODELLIERUNG	66
8	LITERATURVERZEICHNIS	68
9	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	70
10	TABELLENVERZEICHNIS	74
11	ANHANG	75
11.1	Parameter für die Ausbreitungsmodellierung	75

1 Zusammenfassung

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

Der Untersuchungsraum von 7.5 km x 7.5 km umfasst das Salzburger Stadtgebiet. Die Windfeldmodellierung wurde für ein Gebiet mit einer Fläche 23 km x 42 km Seitenlänge durchgeführt.

Für die Initialisierung der Windfeldmodellierung wurden meteorologische Eingangsdaten der Station Salzburg Flughafen für den Bezugszeitraum Juni 2008 bis Mai 2009 verwendet. Die Daten des Emissionskatasters Salzburg beziehen sich auf das Referenzjahr 2010. Das verwendete Modellsystem ermöglicht die Integration von Punkt-, Linien-, und Flächenquellen. Insgesamt wurden für 13 verschiedene Quellgruppen die Konzentrationsfelder berechnet. Zur Berechnung der NO₂-Konzentrationen wurde die Rombergfunktion verwendet.

Für den Jahresmittelwert an NO_x ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit den Messwerten. Für den Jahresmittelwert an NO₂ wird nur die Station Rudolfsplatz unterschätzt.

Auch für den maximalen Halbstundemittelwert an NO₂ ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit den Messdaten.

Auf Basis der Modellierung können die Gebiete mit Grenzwertüberschreitungen ausgewertet werden. Sowohl der Grenzwert für den Jahresmittelwert als auch der Grenzwert für den maximalen Halbstundenmittelwert werden nur entlang der Autobahn und entlang von innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen überschritten.

Salzburg Stadt

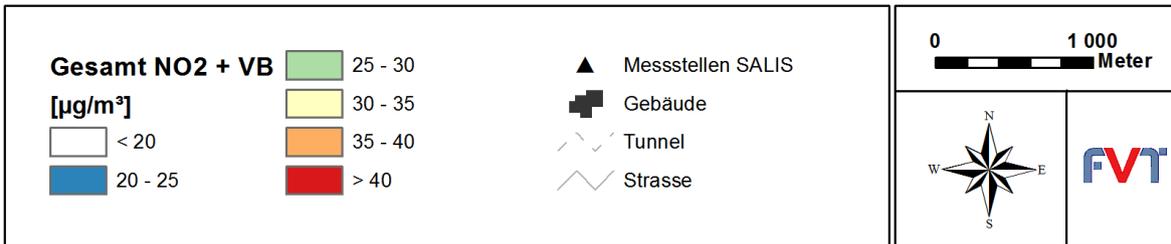
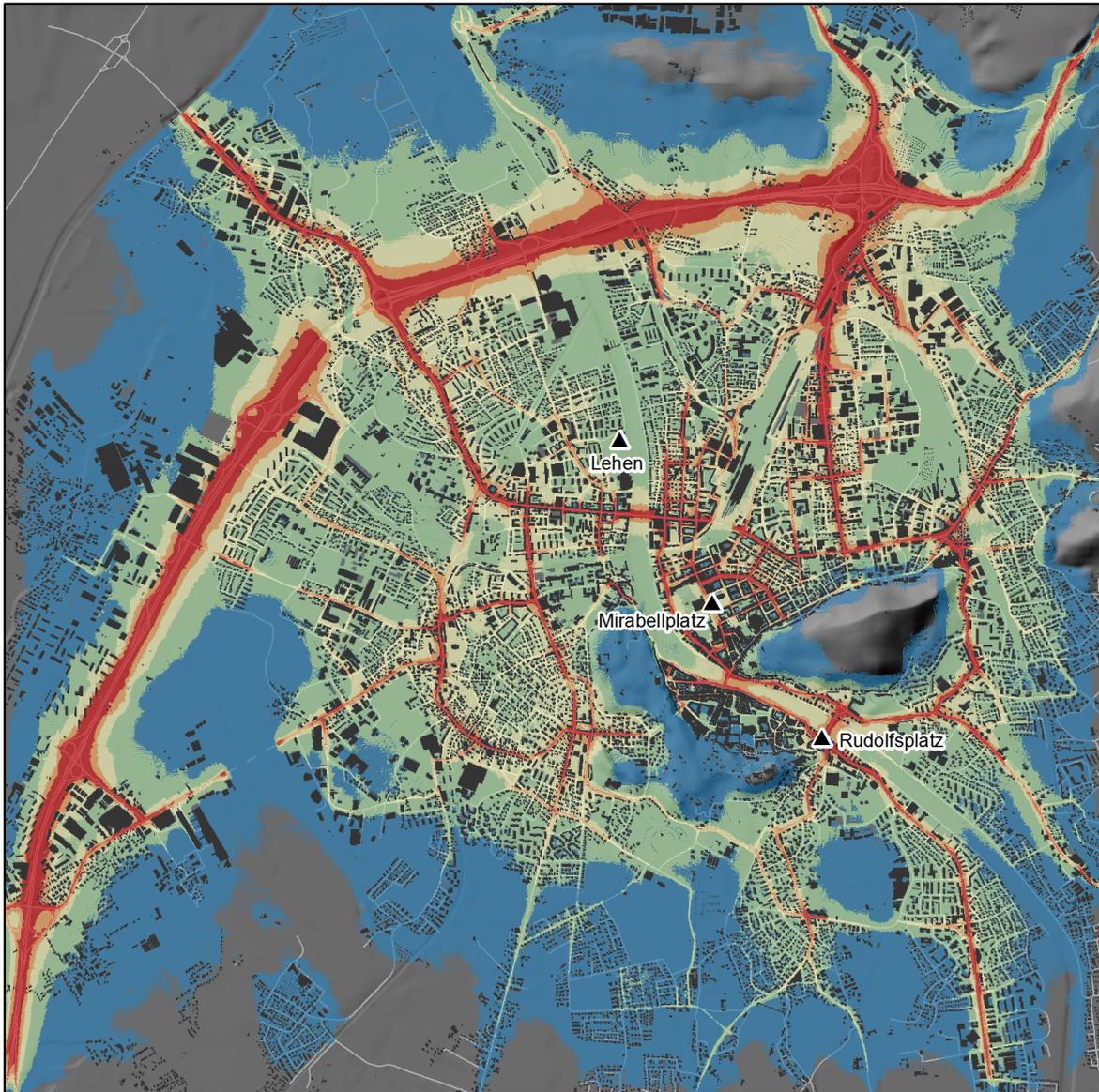


Abbildung 1: Modellierte NO₂-Konzentration im Jahresmittel

2 Aufgabenstellung

Inhalt dieser Studie ist die Erstellung eines Immissionskatasters für das Modellgebiet Salzburg Stadt. Dazu wird das am Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik 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.

Die meteorologischen Eingangsdaten wurden vom Amt der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt und von der ZAMG Salzburg geprüft. Dabei wurde bei der Wahl des Zeitraumes darauf geachtet, dass ein meteorologisch durchschnittliches Jahr herangezogen worden ist [18]. Auf Basis dieser Messdaten wird das Windfeldmodell initialisiert und validiert.

Für die Validierung der Ausbreitungsrechnungen und Ermittlung der Vorbelastungen werden amtliche Luftgütemessungen des Landes Salzburg herangezogen.

Die verwendeten Emissionsdaten sämtlicher Quellen wurden vom Land Salzburg zur Verfügung gestellt. Das verwendete Modellsystem ermöglicht die Integration von Punkt-, Linien- und Flächenquellen sowie Tunnelportalen.

Anhand des Modellsystems werden flächendeckende Konzentrationsfelder für den nach IG-L begrenzten Luftschadstoff NO_2 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 NO_2 mit Hilfe der Rombergfunktion [6] 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.

3 Untersuchungsraum und -zeit

Der Untersuchungsraum umfasst 42 km² des Salzburger Stadtgebiets. Die Ausbreitungsrechnung wurde für ein Gebiet mit einer Größe von 7.5 km x 7.5 km (siehe Abbildung 2) durchgeführt.

Für die Initialisierung der Windfeldmodellierung wurden meteorologische Eingangsdaten der Station Salzburg Flughafen für den Bezugszeitraum Juni 2008 bis Mai 2009 verwendet. Die Daten des Emissionskatasters Salzburg beziehen sich auf das Referenzjahr 2010.

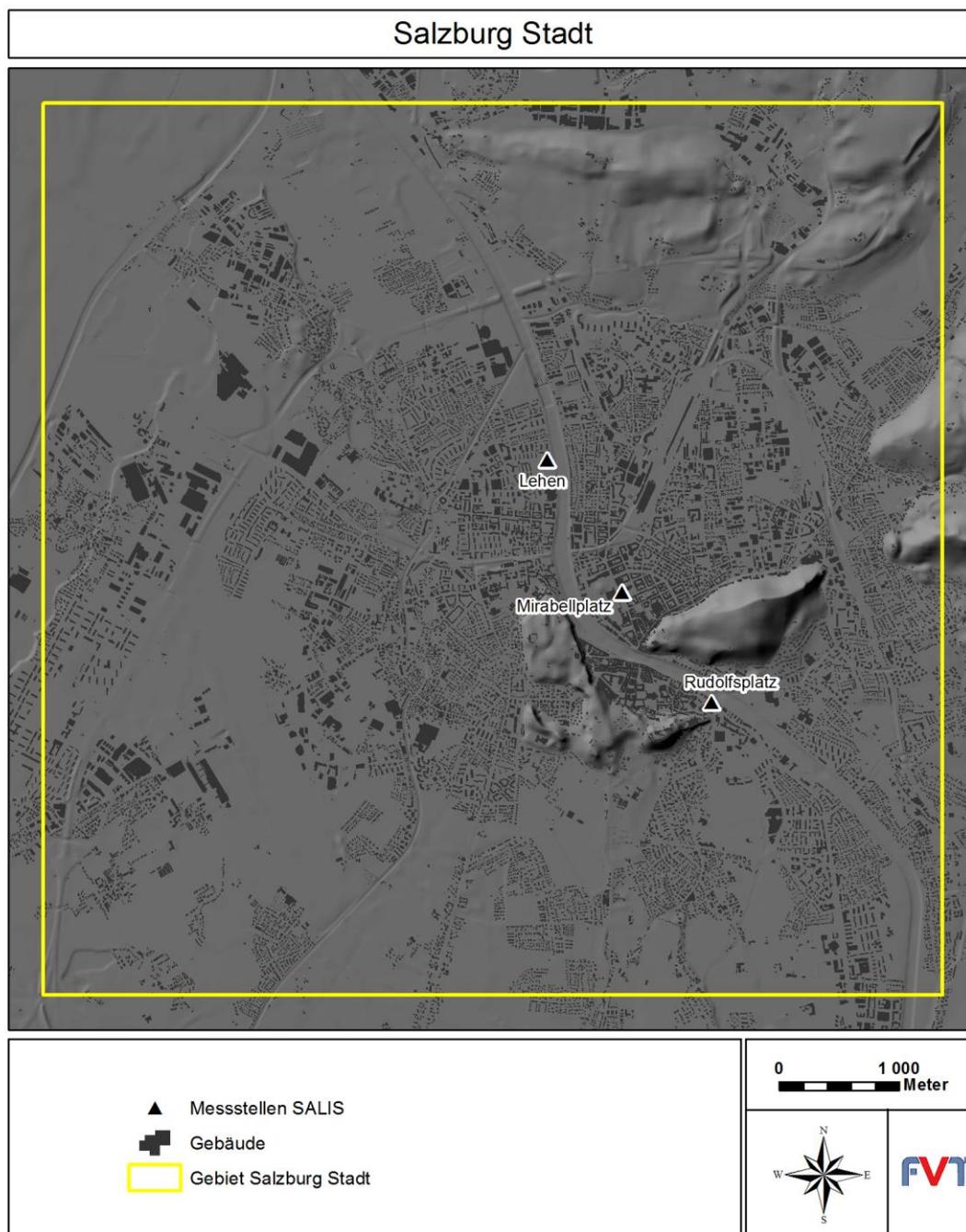


Abbildung 2: Untersuchungsraum für den Immissionskataster Salzburg Stadt
FVT mbH

4 Untersuchungsmethodik

4.1 Gebäudedaten

Vom Land Salzburg wurde ein digitales Oberflächenmodell (DOM) und ein digitales Geländemodell (DGM) für das Berechnungsgebiet zur Verfügung gestellt. Die Gebäudehöhen wurden aus der Differenz zwischen digitalem Oberflächenmodell und digitalem Geländemodell errechnet.

4.2 Methodik Emissionen

Die Verkehrszählraten wurden von der Stadt Salzburg, sämtliche andere Eingangsdaten wurden vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt und umfassen ein Gebiet von 23 km x 42 km, dieses ist demnach größer als das Untersuchungsgebiet Salzburg Stadt. In der Ausbreitungsrechnung werden allerdings nur die Emissionen verwendet, die sich innerhalb des Untersuchungsraumes Salzburg Stadt befinden. Als Basis für die Ausbreitungsrechnungen müssen die verschiedenen Schadstoffemittenten charakterisiert werden. Für das Gebiet werden die unterschiedlichen Quelltypen aus dem Emissionskataster Salzburg erfasst. Dieser unterscheidet folgende Quelltypen:

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

Eine Übersicht der Emissionsdaten befindet sich in Kapitel 5.3. Die Zuordnung der zu den Quellgruppen ist ident zu jenen der Immissionskataster Salzburg Stadt bis Eugendorf [19] und Immissionskataster Salzburg Zentralraum [20], sodass hier auch Quellen und Quellgruppen angeführt sind, die für das Stadtgebiet Salzburg nicht von Bedeutung sind.

4.2.1 Punktquellen

Für das Stadtgebiet wurden 12 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 12 Kamine wurden in vier Quellgruppen zusammengefasst.

Quellgruppe 1 – Gewerbe und Industrie:

Alpenmilch Salzburg, Alternative Energie Salzburg GmbH/Siezenheim, Bäckerei Flöckner, Kaindl Wals, Stieglbrauerei Salzburg

Quellgruppe 2 - Heizwerke:

Heizkraftwerk Mitte, Heizwerk Nord, LKA St. Johanns Spital

Quellgruppe 3 - Zellstoffwerk:

Schweighofer Fiber
außerhalb des Untersuchungsraumes Salzburg Stadt

Quellgruppe 4 - Zementwerk:

Leube
außerhalb des Untersuchungsraumes Salzburg Stadt

4.2.2 Linienquellen

Die Verkehrsemissionen wurden auf Basis der Verkehrsdaten der Stadt Salzburg vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung für 4 Quellgruppen zur Verfügung gestellt:

Quellgruppe 10: PKW, IO+AO

Emissionen von PKWs, Außerorts und Innerorts.

Quellgruppe 11: LKW, IO+AO

Emissionen von LKWs, Außerorts und Innerorts.

Quellgruppe 12: PKW, AB

Emissionen von PKWs, Autobahn.

Quellgruppe 13: LKW, AB

Emissionen von LKWs, Autobahn.

Für die Modellierungen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Die Straßenbreite wurde vom Auftragsteller zur Verfügung gestellt.
- 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.

4.2.3 Flächenquellen

Die Emissionsdaten der verschiedenen Flächenquellen wurden vom Referat Chemie und Umwelttechnik des Amtes der Salzburger Landesregierung als Rasterdaten mit unterschiedlichen horizontalen Auflösungen (50 m x 50 m, 100 m x 100 m und 200 m x 200 m) zur Verfügung gestellt:

Quellgruppe 5 – Flächenverkehr:

Verkehrsemissionen, welche nicht den Linienquellen zugeordnet wurden
Auflösung: 100 m x 100 m und 200 m x 200 m

Quellgruppe 6 – Bahn:

Emissionen auf Eisenbahnstrecken
Auflösung: 50 m x 50 m

Quellgruppe 7 – Haushalte und Kleinverbraucher:

kleine stationäre Flächenquellen
Auflösung: 100 m x 100 m und 200 m x 200 m

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

Emissionen verursacht durch Off-Road-Maschinen, darunter beispielsweise Baumaschinen und Traktoren
Auflösung: 50 m x 50 m, 100 m x 100 m und 200 m x 200 m

Quellgruppe 9 – Pistenwalzen:

Emissionen verursacht durch den Betrieb von Pistenwalzen im Winter
Auflösung: 50 m x 50 m
außerhalb des Untersuchungsraumes Salzburg Stadt

Für jede Quellgruppe müssen neben der Quellstärke und den Rasterkoordinaten Freisetzungshöhen definiert werden. Diese können Tabelle 1 entnommen werden

Tabelle 1: Freisetzungshöhen der Flächenquellen

Quellgruppe		Methodik Quellhöhe	z	dz
5	Flächenverkehr	mittlere Höhe 2 m	2	1
6	Bahn	mittlere Höhe 4 m	4	1
7	Kleinverbraucher	mittlere Höhe 10 m	10	2
8	Off-Road	mittlere Höhe 4 m	4	1
9	Pistenwalzen	mittlere Höhe 4 m	4	1

4.2.4 Ganglinien der Emissionen

Bei der Berechnung der Immissionsbelastungen werden Tages- und Jahrgang der Emissionsquellen berücksichtigt. Die verwendeten Ganglinien werden in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt.

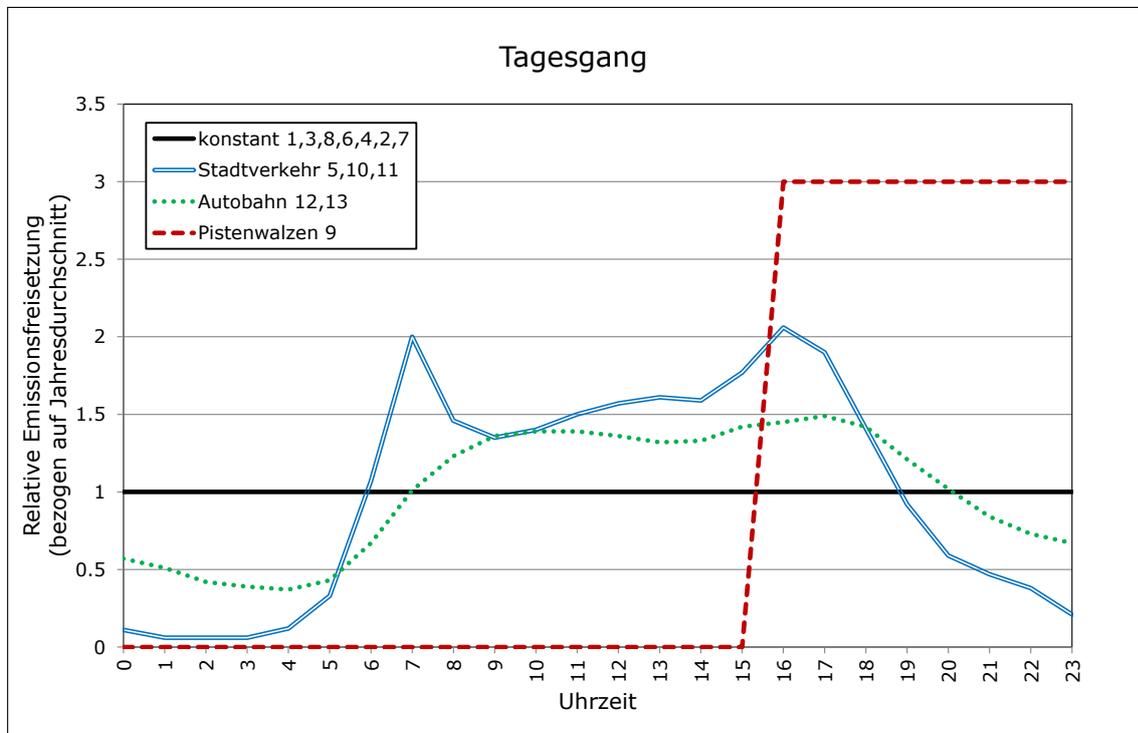


Abbildung 3: Relativer Tagesgang der Emissionsquellen

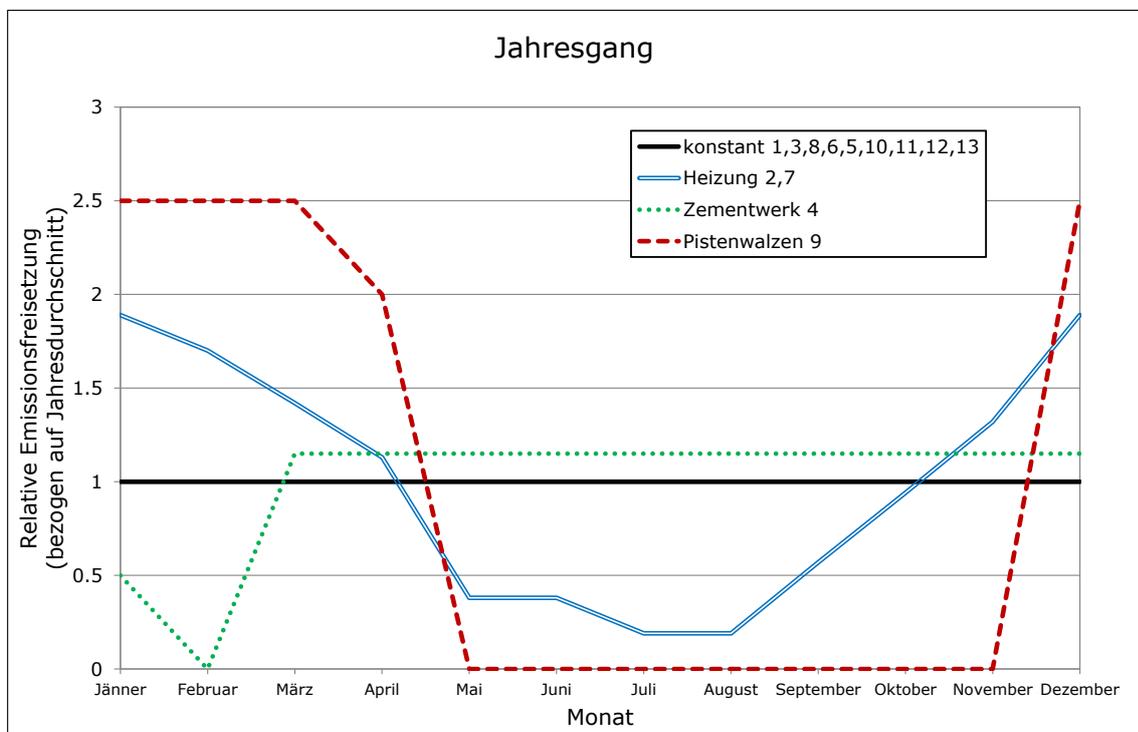


Abbildung 4: Relativer Jahrgang der Emissionsquellen

4.3 Methodik Immissionen

4.3.1 Grenzwerte

Die für das Berechnungsgebiet relevanten gesetzlichen Grenzwerte können den folgenden Tabellen entnommen werden:

Tabelle 2: Immissionsgrenzwerte nach IG-L [2] alle Werte in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Luftschadstoff	HMW	MW8	TMW	JMW
Schwefeldioxid SO ₂	200 ³⁾		120	
Kohlenmonoxid CO		10 000		
Stickstoffdioxid NO ₂	200			30 ¹⁾
Benzol				5
Blei in PM ₁₀				0.5
PM ₁₀			50 ²⁾	40
PM _{2,5}				25 ⁴⁾

¹⁾ seit 1.1.2011 gilt eine Toleranzmarge von 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Absenkung auf 0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Toleranzmarge wurde derzeit noch nicht evaluiert.

²⁾ darf 25-Mal pro Jahr überschritten werden.

³⁾ Drei Halbstundenmittelwerte pro Tag, jedoch maximal 48 Halbstundenmittelwerte pro Kalenderjahr bis zu einer Konzentration von 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gelten nicht als Überschreitung.

⁴⁾ gültig ab 01.01.2015. Die Toleranzmarge von 20 % für diesen Grenzwert wird ausgehend vom 11. Juni 2008 am folgenden 1. Jänner und danach alle 12 Monate um einen jährlich gleichen Prozentsatz bis auf 0 % am 1. Jänner 2015 reduziert.

Tabelle 3: Grenzwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation (BGBL. II 298/2001) in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] [1].

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

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 berechnet werden. Eine detaillierte Beschreibung des Modells und Ergebnisse von Validierungsrechnungen findet sich in [9]. Die verwendeten Eingangsparameter für die vorliegenden Berechnungen werden im Anhang (Kapitel 11.1) dokumentiert.

4.3.3 Eingangsparameter

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 4 zeigt die 13 verwendeten Quellgruppen.

Tabelle 4: Definition der Quellgruppen

	Quelle	Quellgruppe
Punktquellen	Gewerbe & Industrie	1
	Heizwerke	2
	Zellstoffwerk	3
	Zementwerk	4
Flächenquellen	Flächenverkehr	5
	Bahn	6
	Kleinverbraucher+ Haushalte	7
	Traktoren	8
	Pistenwalzen	9
Linienquelle	PKW IO und AO	10
	LKW IO und AO	11
	PKW AB	12
	LKW AB	13

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.

4.3.4 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 Schmitzebene 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.

4.3.5 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.

4.3.6 NO-NO₂ Umwandlung

Die emittierten Stickstoffoxid-Emissionen (NO_x) 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 möglich, da hierfür umfangreiche Eingangsparameter notwendig wären, welche nicht zur Verfügung stehen (z. B. Strahlungsdaten, Temperaturverteilung, Ozongehalt, HC-Gehalt, zeitlich hochauflösende Emissionsverläufe, usw.).

Als einfache Alternative zur Ermittlung der NO₂-Umwandlung wird ein empirischer Ansatz [6] verwendet. 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

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

die NO₂-Konzentration ermittelt. Die Parameter *A*, *B* und *C* wurden empirisch aus langen Messreihen für ca. 210 Stationen ermittelt. Zwischenzeitlich wurde diese Beziehung mit den zugehörigen Parametern mit aktuellen Messungen überprüft

und es wurde ein neuer Ansatz mit veränderten Parametern in [7] und [8] veröffentlicht. Die Werte für die Parameter aller drei Ansätze sind in Tabelle 5 angegeben. In Abbildung 11 und Abbildung 12 werden die drei Ansätze mit den Messwerten der letzten Jahre verglichen. Für die weiteren Berechnungen wurde die Umwandlungsfunktion von Romberg 1996 [6] gewählt, da sie am besten die lokalen Gegebenheiten beschreibt.

Tabelle 5: Parameter der Regressionskurven für den NO₂-Umwandlungsgrad nach Romberg et al. [6], Bächlin et al. 2006 [7] und Bächlin et al. (2008) [8].

Konzentrationsgröße	Funktionsparameter		
<i>Romberg 1996 [6]</i>	A	B	C
Jahresmittelwert	103	130	0.005
98 Perzentil	111	119	0.039
<i>Bächlin 2006 [7]</i>			
Jahresmittelwert	43	53	0.129
98-Perzentilwert	46	27	0.128
<i>Bächlin 2008 [8]</i>			
Jahresmittelwert	29	35	0.217
98-Perzentil	40	20	0.170

4.3.7 Berechnung des max. HMW bei 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 Dieselaggregate oder andere temporäre Emissionsquellen). Aus diesen Gründen wird in dieser Untersuchung 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 ([4], [5]). Damit lassen sich auch Aussagen über die Wahrscheinlichkeit einer Grenzwertüberschreitung beim max. HMW für NO₂ treffen. Addiert man die

einfache Standardabweichung von $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ so erhält man eine Prognosesicherheit von 84 %, addiert man die zweifache Standardabweichung so beträgt die Prognosesicherheit schließlich knapp 98 %. Letztlich kann eine Grenzwertüberschreitung an einzelnen Aufpunkten durch Einzelereignisse nie völlig ausgeschlossen werden. Abbildung 5 stellt den oben genannten Sachverhalt dar.

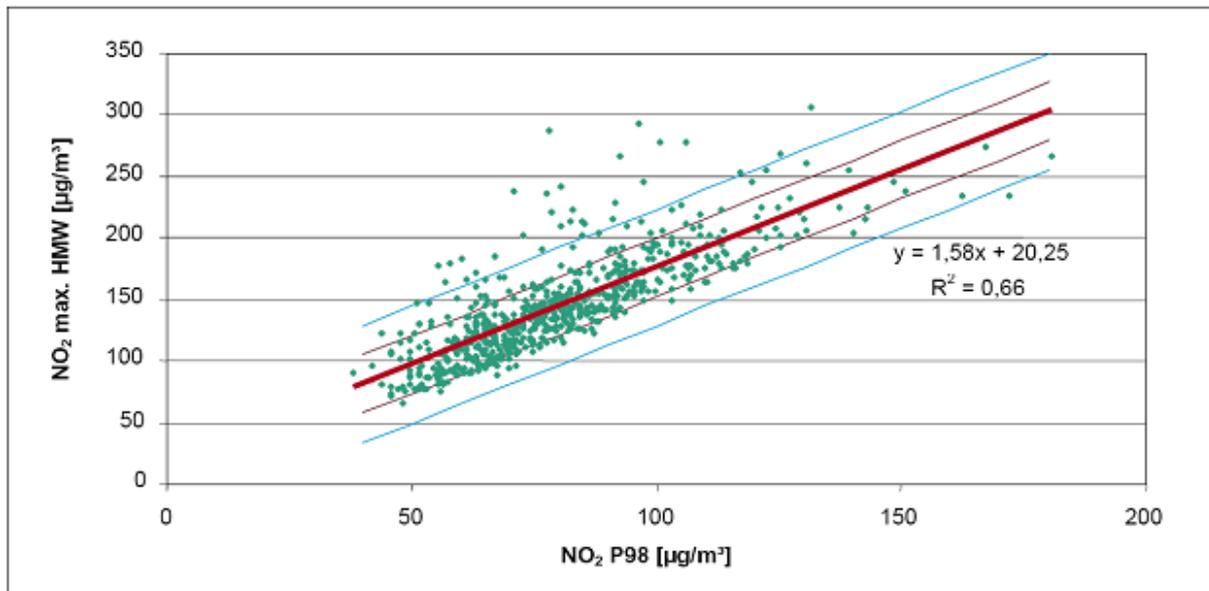


Abbildung 5: Empirischer Zusammenhang zwischen 98 Perzentil NO₂ und dem maximalen Halbstundenmittelwert von NO₂ (Quelle: [11])

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 der ZAMG Salzburg
- Emissionskataster Salzburg
- Luftgütemessungen vom Amt der Salzburger Landesregierung

5.1 Meteorologie

Für die Ausbreitungsmodellierungen wurde eine Zeitreihe der meteorologischen Parameter Windgeschwindigkeit, -richtung und Ausbreitungsklasse gemäß ÖNORM M 9440 benötigt. Da nur eine meteorologische Station für die Initialisierung verwendet wird, 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 6) ausgesucht. Die Daten wurden von der ZAMG für den Messzeitraum Juni 2008 bis Juni 2009 geprüft.

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ist in Abbildung 7 dargestellt. Windschwache Wetterlagen unter 0.8 m/s kommen in knapp 19 % des Jahres vor. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit betrug 2.1 m/s.

Betrachtet man die mittlere Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen so sind zwei Hauptwindrichtungen erkennbar (Abbildung 8). Hauptsächlich treten Windrichtungen aus Nordwest und Südsüdost auf.

Der mittlere Tagesgang der Windrichtungen ist in Abbildung 10 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.

Salzburg Stadt



Abbildung 6: Übersicht meteorologische Messstellen

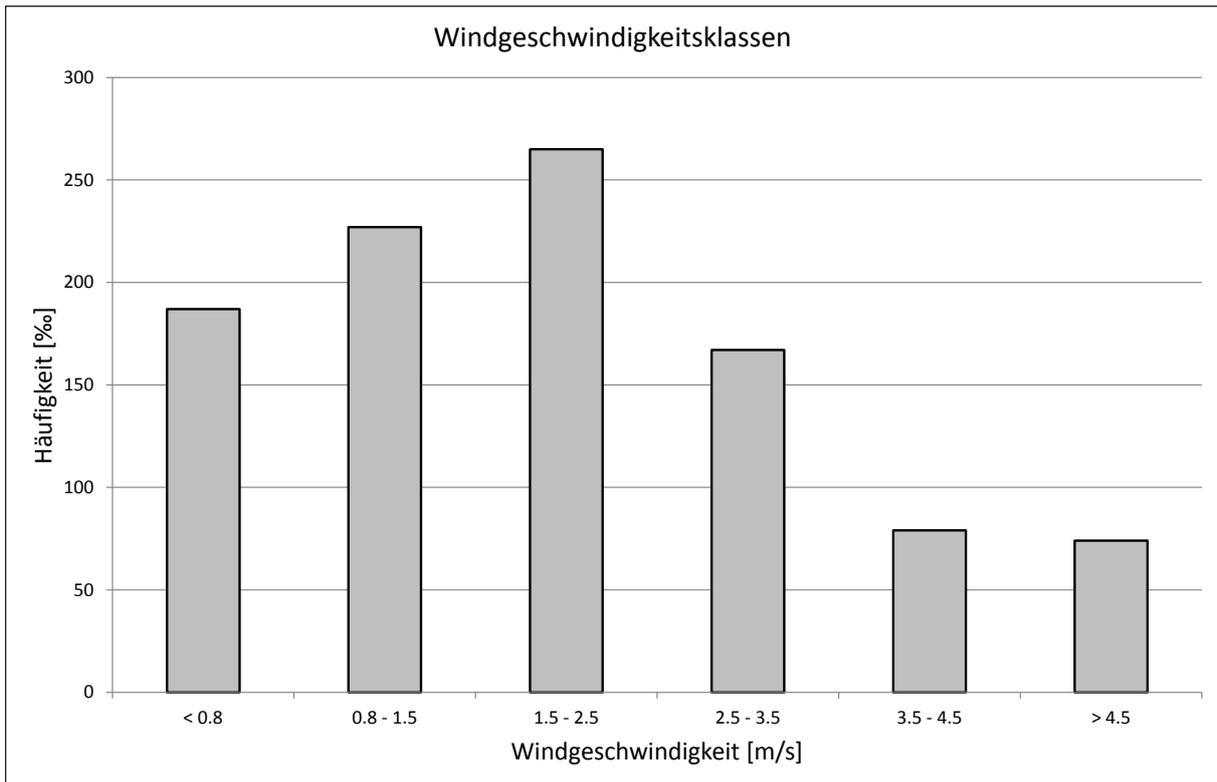


Abbildung 7: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Flughafen

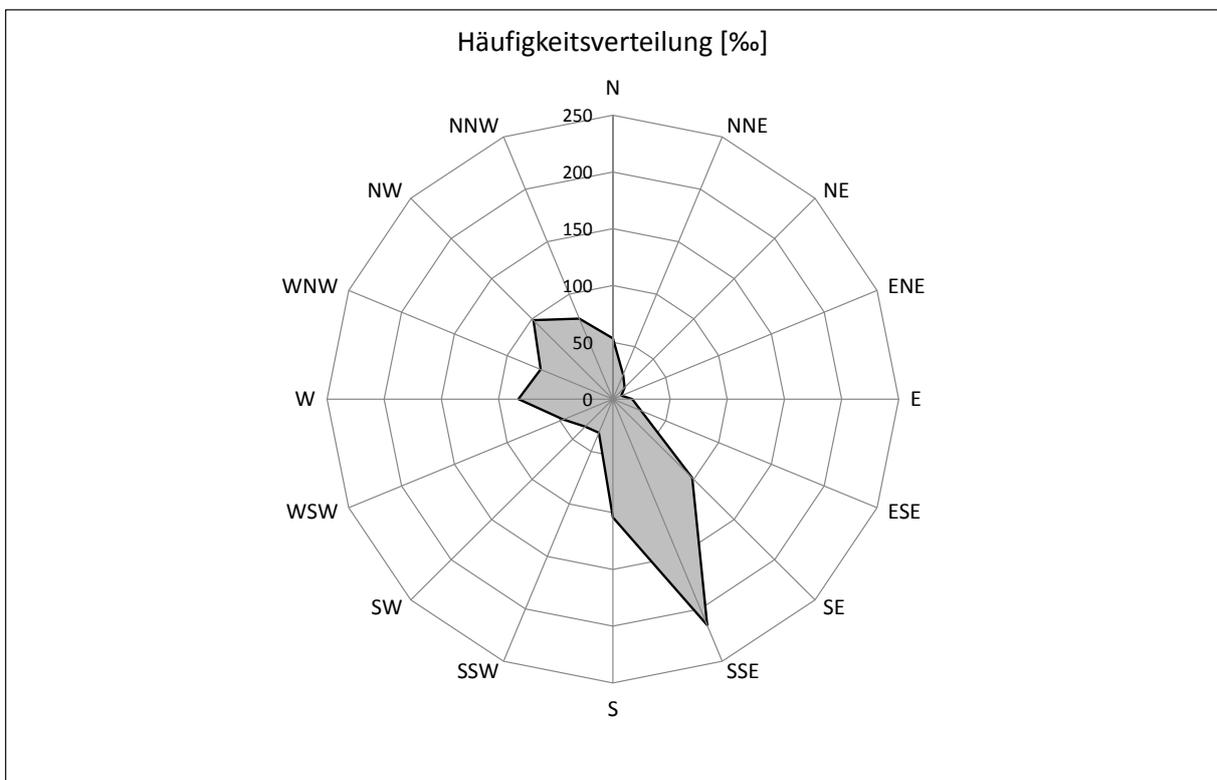


Abbildung 8: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] am Standort Salzburg Flughafen

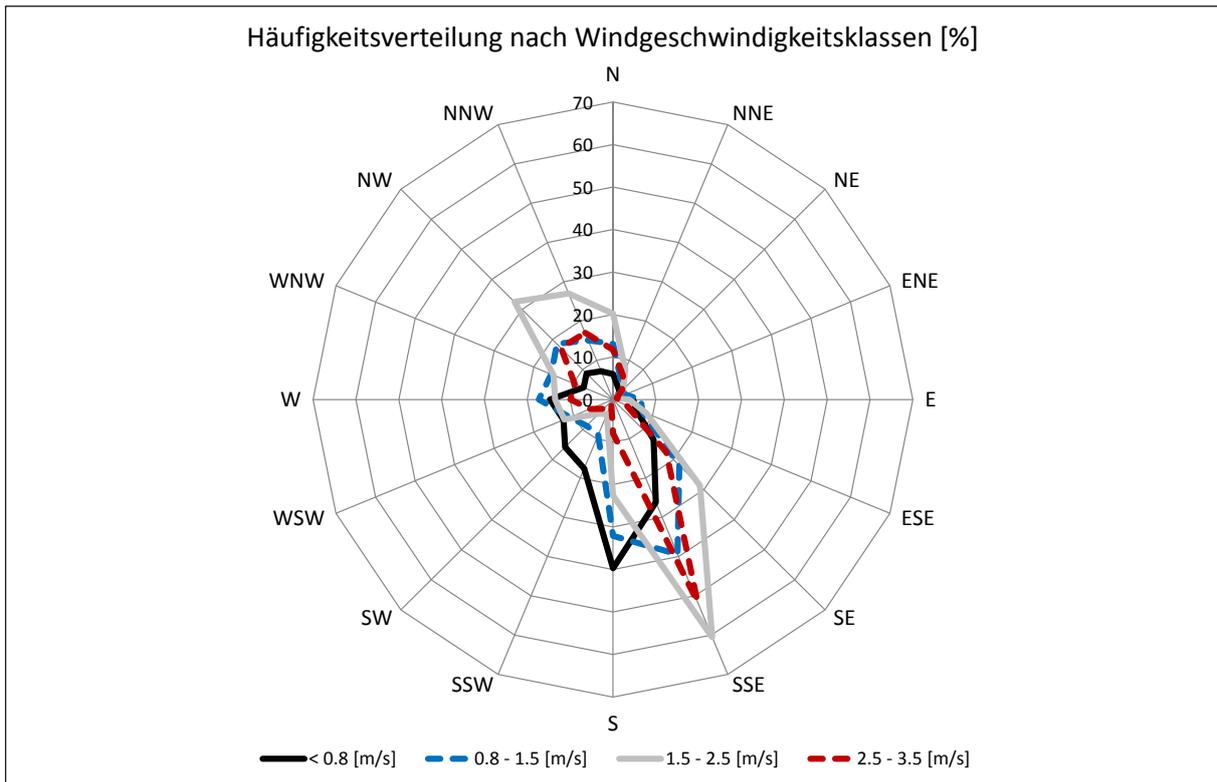


Abbildung 9: Mittlere Windrichtungsverteilung nach Windgeschwindigkeitsklassen [%] am Standort Salzburg Flughafen

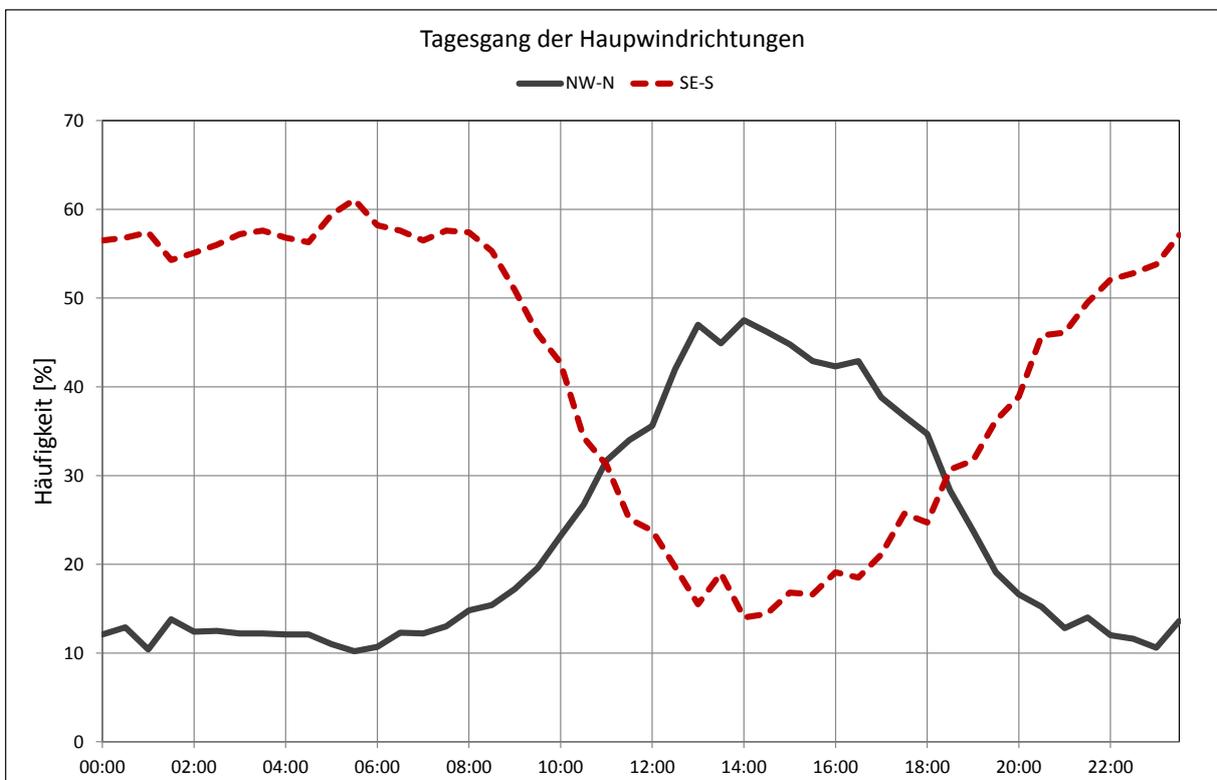


Abbildung 10: Mittlere Häufigkeit der beiden Hauptwindrichtungen am Standort Salzburg Flughafen

5.2 Luftgüte

Zur Validierung der Ausbreitungsrechnungen werden Messwerte der kontinuierlichen Luftgütestationen des Messsystems SALIS und Passivsammlermessungen aus dem Jahr 2010 herangezogen. Die Lage der Messstationen ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Werte wurden aus den Jahresberichten 2008-2012 entnommen ([12], [13], [14], [15] und [16]).

5.2.1 Kontinuierliche Messstationen

Der Grenzwert für den Jahresmittelwert an NO_2 wurde in den letzten Jahren an den Stationen Salzburg Rudolfsplatz, Hallein Kreisverkehr und Hallein Autobahn deutlich überschritten. Bei allen anderen Stationen wurde der Grenzwert eingehalten. Der Grenzwert für den maximalen Halbstundenmittelwert wurde in den letzten Jahren (2010-2011) bei der Station Salzburg Rudolfsplatz überschritten. Im Jahr 2012 kam es bei keiner Station zu einer Überschreitung des maximalen Halbstundenmittelwertes.

In Abbildung 11 bis Abbildung 13 werden die verwendeten Umwandlungsfunktionen von NO_x zu NO_2 mit den Messwerten im Untersuchungsgebiet verglichen. Es ergibt sich eine relativ gute Übereinstimmung mit den Messwerten, jedoch zeigen die Messwerte bei hohen NO_x -Werten höhere NO_2/NO_x Verhältnisse, sowohl für den Jahresmittelwert als auch für das 98-Perzentil.

Tabelle 6: Gemessene NO₂- und NO_x-Konzentrationen in Salzburg

Stationsname	Jahr	NO ₂				NO _x		
		JMW [µg/m ³]	TMW _{max} [µg/m ³]	HMW _{max} [µg/m ³]	Üb [#]	JMW [µg/m ³]	TMW _{max} [µg/m ³]	HMW _{max} [µg/m ³]
Salzburg Rudolfsplatz	2010	59	127	278	7	147	548	1336
	2011	57	111	243	6	148	469	1145
	2012	53	100	191	0	136	343	792
Salzburg Mirabellplatz	2010	33	96	158	0	58	293	711
	2011	34	79	136	0	63	213	547
	2012	32	72	121	0	56	170	414
Salzburg Lehen	2010	27	92	143	0	43	235	584
	2011	28	76	113	0	47	216	577
	2012	26	78	110	0	39	199	577
Hallein B159-Kreisverk.	2010	48	111	194	0	125	370	1106
	2011	47	98	183	0	125	372	1030
	2012	43	99	165	0	119	325	996
Hallein Autobahn	2010	53	107	194	0	134	361	856
	2011	54	100	186	0	141	363	1027
	2012	53	102	187	0	133	343	906
Hallein Winterstall	2010	15	60	81	0	21	155	201
	2011	15	52	77	0	21	132	232
	2012	14	51	76	0	18	114	189
Haunsberg	2010	11	42	68	0	13	62	118
	2011	10	37	69	0	12	63	105
	2012	10	42	66	0	12	47	91
St. Johann - BH	2010	26	75	115	0	47	239	473
	2011	26	80	112	0	52	276	476
	2012	25	72	105	0	46	183	373
Tamsweg	2010	15	58	97	0	29	201	486
	2011	15	49	100	0	33	159	472
	2012	15	54	139	0	28	123	335
Zederhaus	2010	33	91	152	0	81	359	610
	2011	35	92	166	0	90	369	671
	2012	34	94	189	0	81	346	798
Zell am See	2012	22	73	152	0	38	176	463

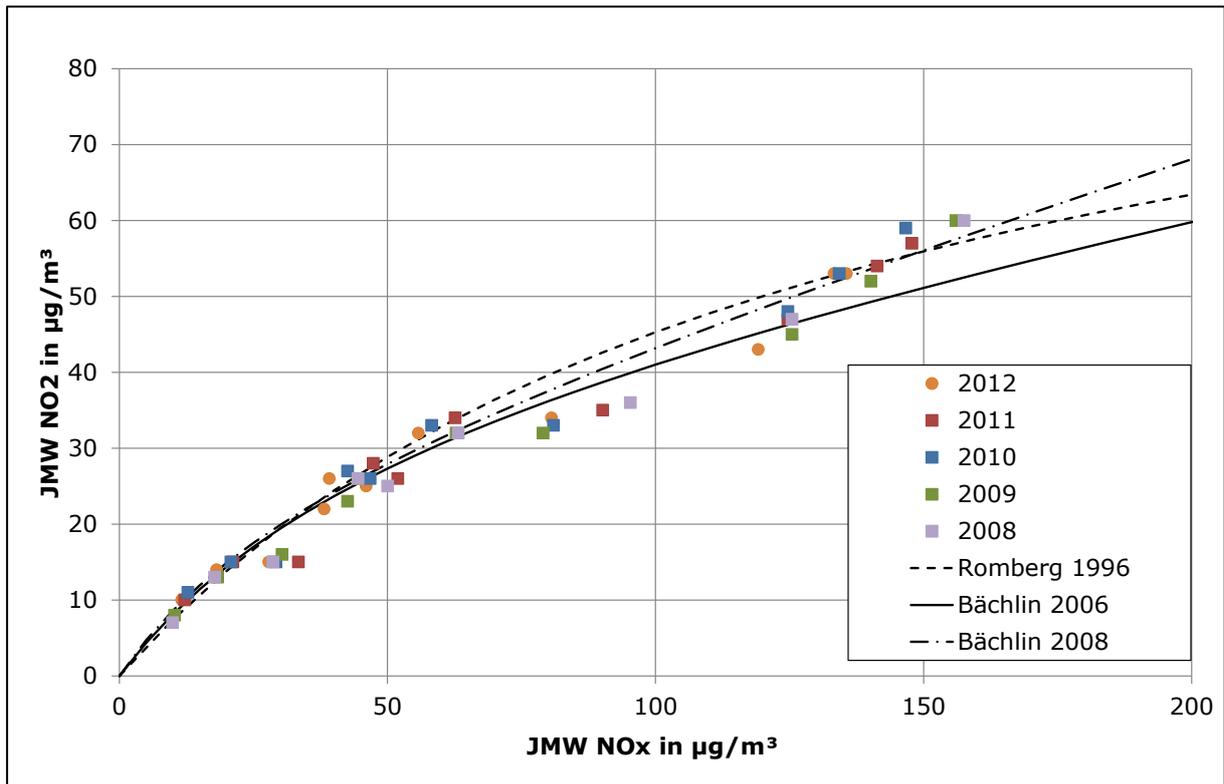


Abbildung 11: Vergleich der Umwandlungsfunktionen für den JMW NO₂ mit Messwerten

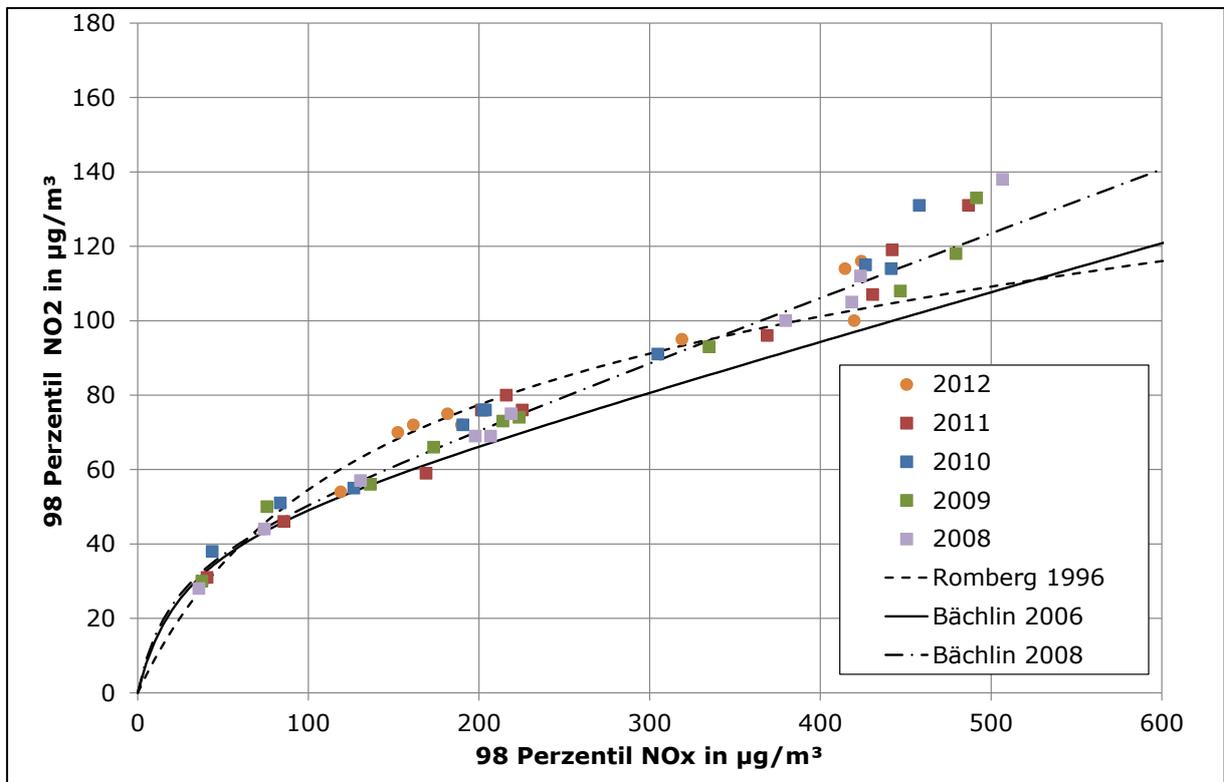


Abbildung 12: Vergleich der Umwandlungsfunktionen für das 98-Perzentil an NO₂ mit Messwerten

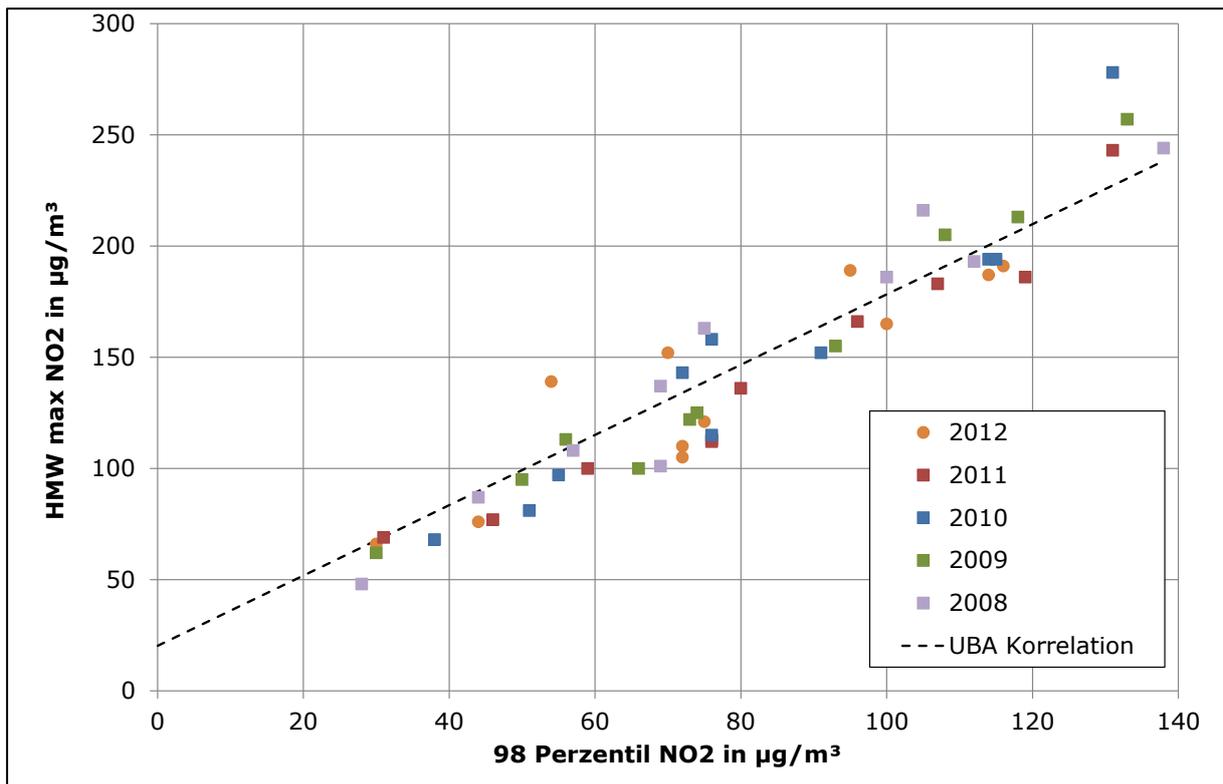


Abbildung 13: Vergleich der Umwandlungsfunktionen für den HMW NO₂ mit Messwerten

5.2.2 Ergebnisse der Messungen mit Passivsammler

Seit dem Jahr 2010 führt das Land Salzburg verstärkt Luftqualitätsmessungen mit Passivsammlern durch. 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 2010 Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Ergebnisse der Passivsammlermessungen für das Jahr 2010

Messort	Bezirk	Siedlungsstruktur	JMW NO ₂ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Klasse	ObjectID
Salzburg Ulrich-Schreier-Strasse 18	Stadt Salzburg	Wohngebiet	24.2	I	157
Salzburg Alpenstrasse	Stadt Salzburg	Wohngebiet, verkehrsnah	25.5	I	153
Salzburg Gnigl Sportplatz	Stadt Salzburg	Wohngebiet	26.3	II	149
Salzburg Lehen Messstation	Stadt Salzburg	Wohngebiet	26.5	II	156
Salzburg Flughafen	Stadt Salzburg	Verkehrsnah	33.7	III	226
Salzburg Lieferung Autobahn	Stadt Salzburg	Verkehrsnah	39.3	III	165
Wals Europark	Flachgau	Verkehrsnah	42.7	IV	228
Salzburg Vogelweiderstrasse	Stadt Salzburg	Verkehrsnah	52.4	IV	152
Salzburg Rudolf-Biebl-Strasse	Stadt Salzburg	Verkehrsnah	54.4	IV	150
Salzburg Rudolfsplatz	Stadt Salzburg	Verkehrsnah	57.7	IV	145

5.2.3 Vertikale Abhängigkeit der Vorbelastung

Zur Beschreibung der Abhängigkeit der Hintergrundbelastung von der Seehöhe wurde ein exponentieller Ansatz nach Seinfeld [17] verwendet. Für den Talboden auf einer Seehöhe von ca. 450 m wurde eine Vorbelastung von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den Jahresmittelwert und $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für den maximalen Tagesmittelwert angenommen. Der vertikale Verlauf der Vorbelastung wird in den folgenden Abbildungen mit Messdaten im Raum Salzburg verglichen.

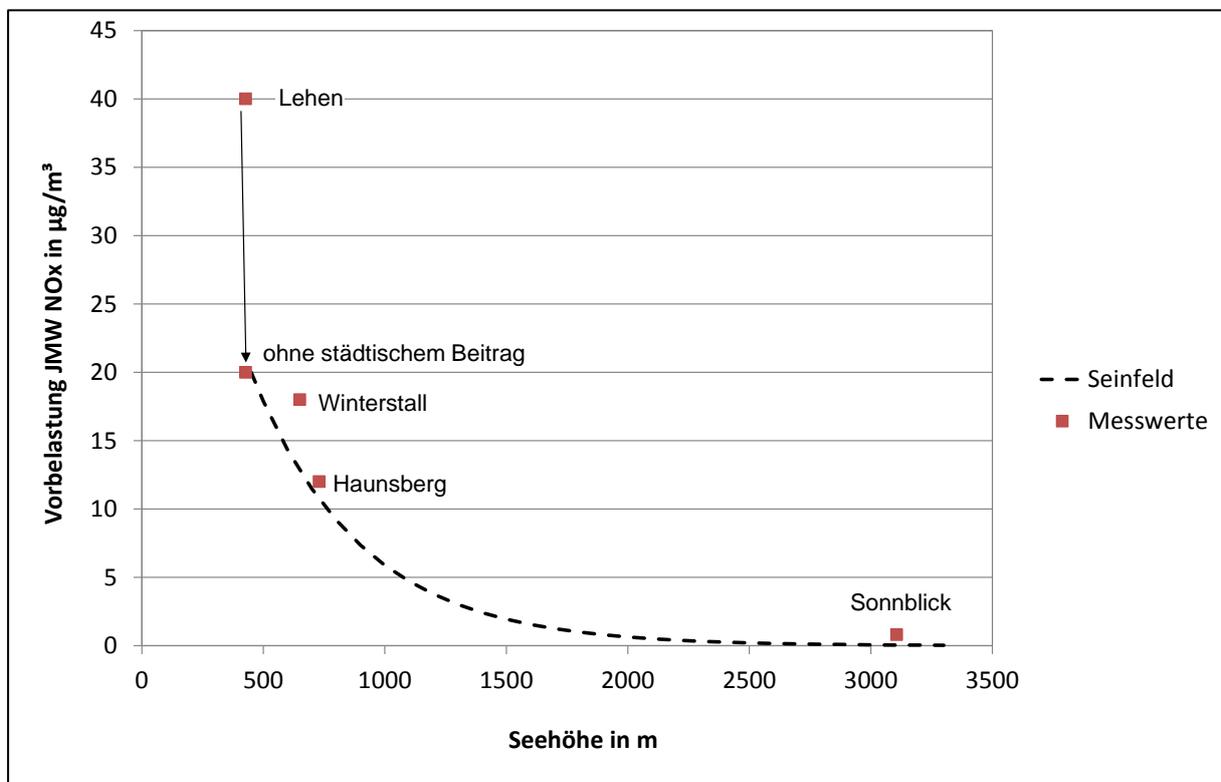


Abbildung 14: Abhängigkeit der NO_x-Vorbelastung für den JMW von der Seehöhe

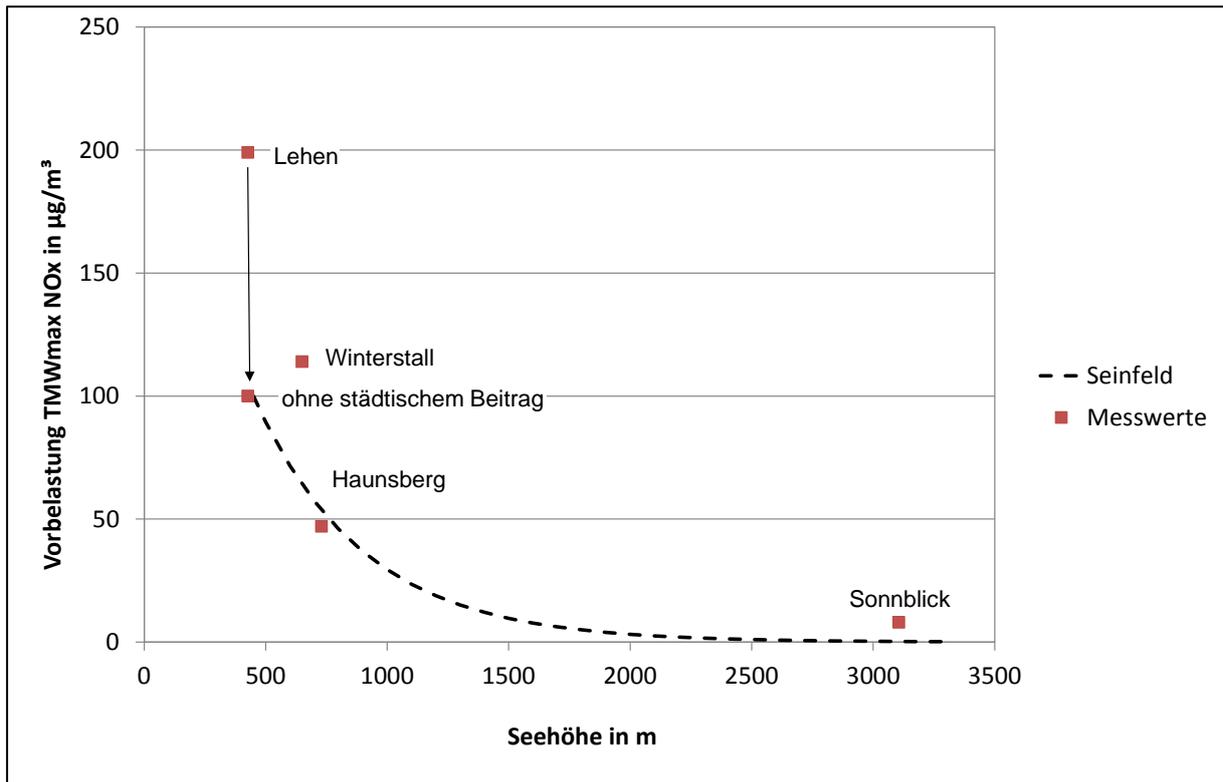


Abbildung 15: Abhängigkeit der NO_x -Vorbelastung für den TMW_{max} von der Seehöhe

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 8 sind die Emissionen der Punkt-, Linien- und Flächenemissionen aufgelistet. Die Anteile der unterschiedlichen Quellen an den Gesamtemissionen werden in Abbildung 16 dargestellt.

Tabelle 8: NO_x-Emissionen im gesamten Untersuchungsgebiet

	Quellgruppe	NO _x [t/a]
Punkte	1 Gewerbe & Industrie	428
	2 Heizwerke	78
	3 Zellstoffwerk	0
	4 Zementwerk	0
Flächen	5 Flächenverkehr	17
	6 Bahn	33
	7 Kleinverbraucher, Haushalte	233
	8 Off-Road	91
	9 Pistenwalzen	0
Linien	10 PKW, IO+AO	135
	11 LKW, IO+AO	63
	12 PKW, AB	188
	13 LKW, AB	188

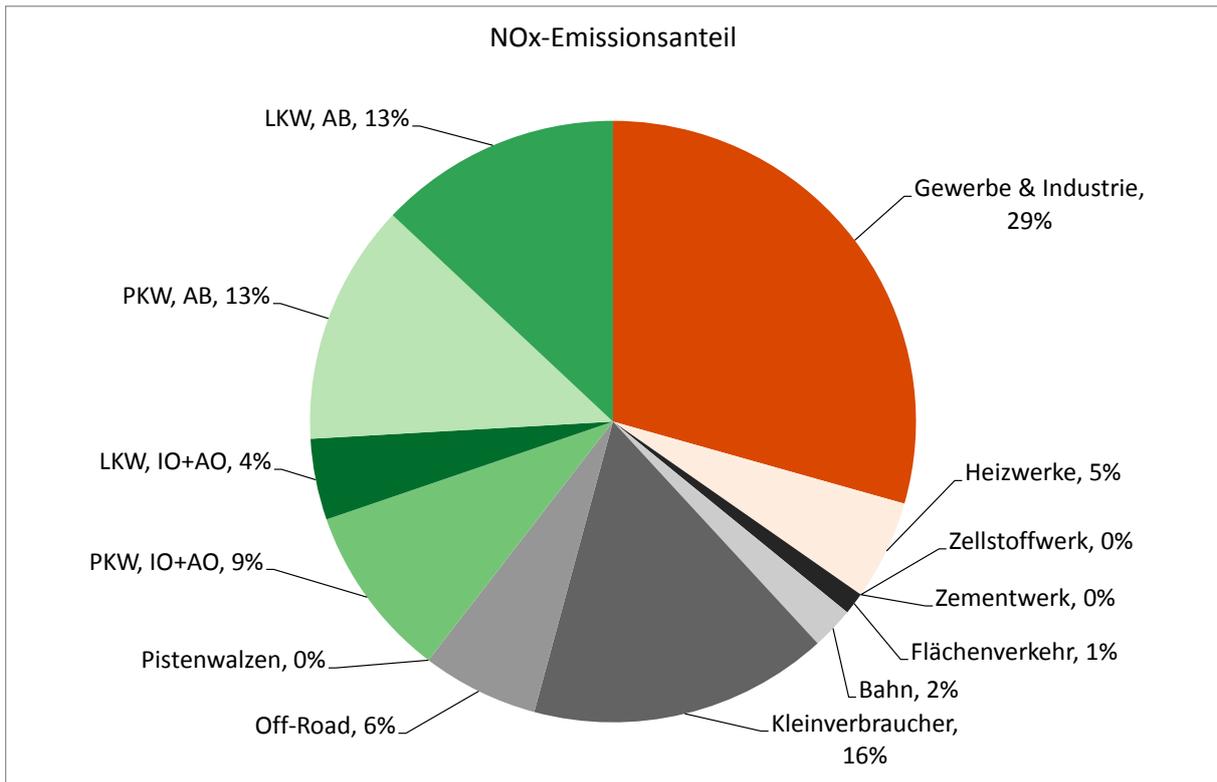


Abbildung 16: Anteil der Quellgruppen an den NO_x-Emissionen im Untersuchungsgebiet

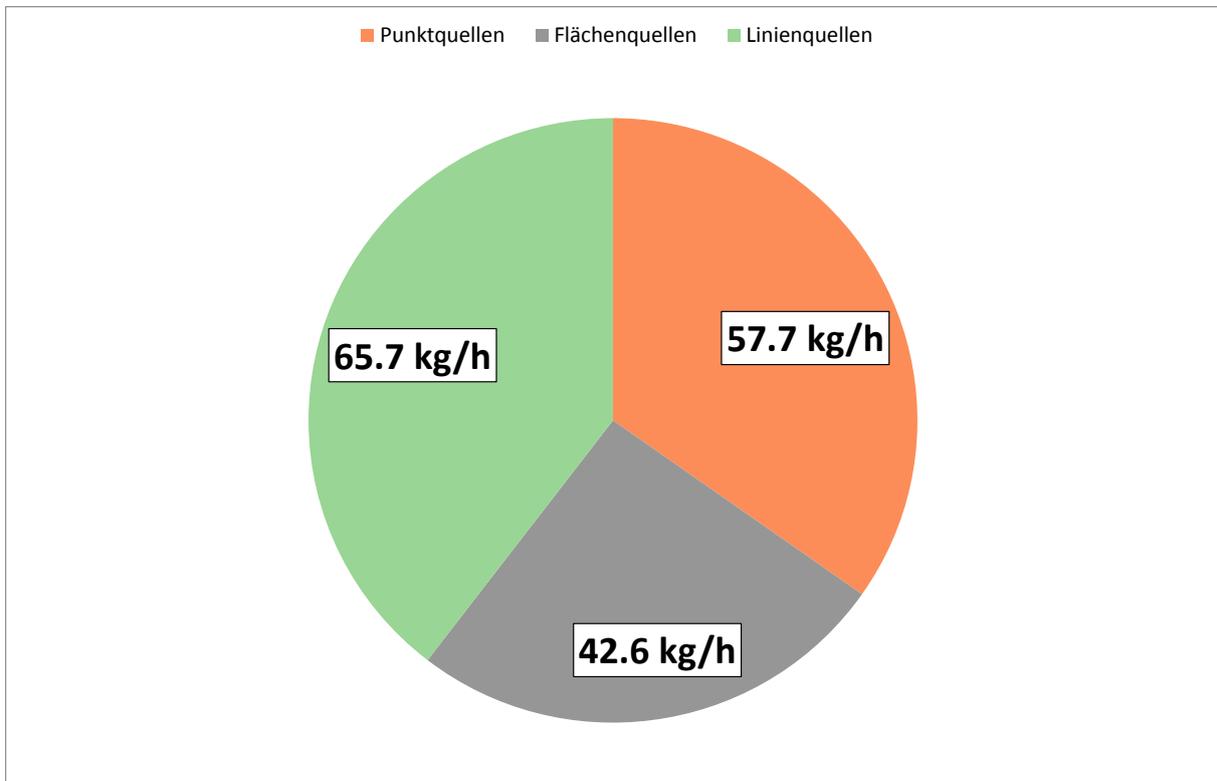


Abbildung 17: Anteil der Quellkategorien an den NO_x-Emissionen im gesamten Untersuchungsgebiet

Der größte NO_x Emittent im Raum Salzburg Stadt ist der Verkehr. Rund 40 % der gesamten NO_x-Emissionen werden ihm zugeschrieben. Die übrigen Emissionen stammen zu 29 % von Gewerbe- und Industrieanlagen, 5 % von den Heizwerken, 2 % von der Bahn und 16 % von den Kleinverbrauchern und Haushalten. Die restlichen 6 % entfallen auf Off-Road.

Die Linienquellen haben aufgrund der geringen Quellhöhe den höchsten Einfluss auf die bodennahen Immissionsbelastungen. Die höchste Immission weist die West-Autobahn aufgrund der großen Verkehrsbelastung auf.

In den folgenden Abbildungen wird die räumliche Verteilung der Punkt-, Linien-, und Flächenquellen innerhalb des Untersuchungsgebietes von Salzburg dargestellt. Insgesamt gibt es im Untersuchungsgebiet 12 Punktquellen die in vier Quellgruppen aufgeteilt worden sind, wobei zwei Quellgruppe (Quellgruppe 3 und 4, Zellstoffwerk und Leube) nicht im Untersuchungsgebiet liegen, aufgrund Vollständigkeit jedoch angeführt werden. Die meisten dieser Punktquellen sind kleine Quellen. 7 Punktquellen emittieren mehr als 1 kg/h, wovon 2 mehr als 10 kg/h emittieren. Die höchste Punktemission beträgt 30 kg/h, das sind rund 260 t/Jahr.

Salzburg Stadt

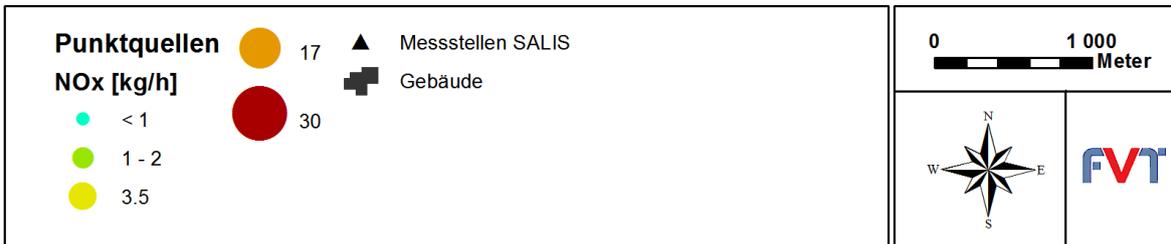
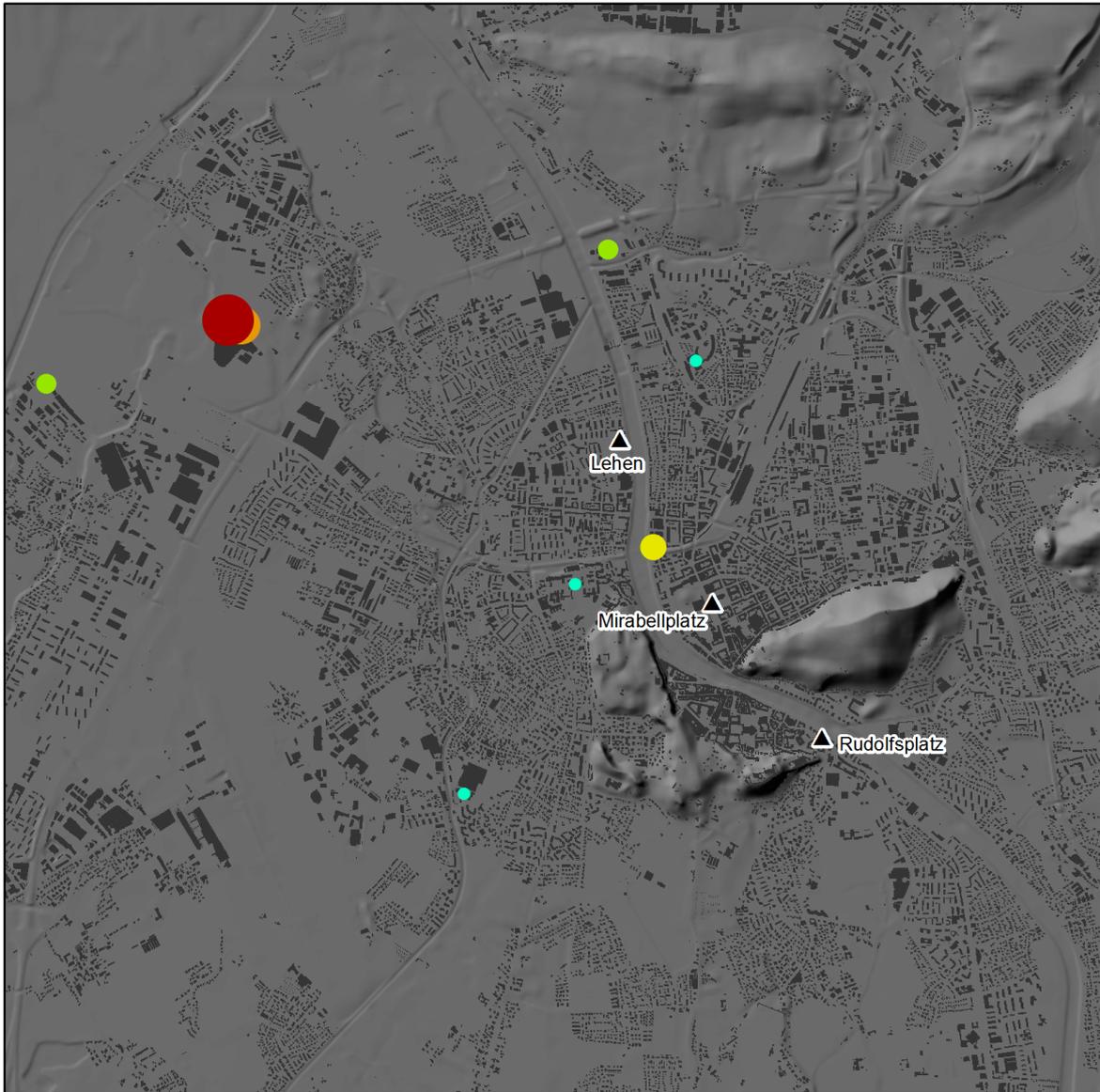


Abbildung 18: NO_x-Punktquellen im Untersuchungsgebiet

Salzburg Stadt

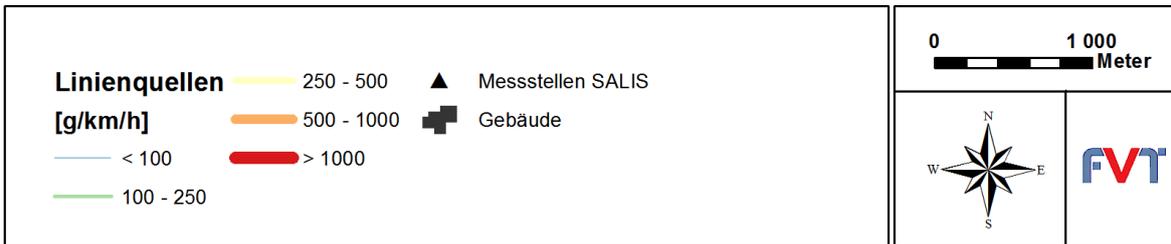
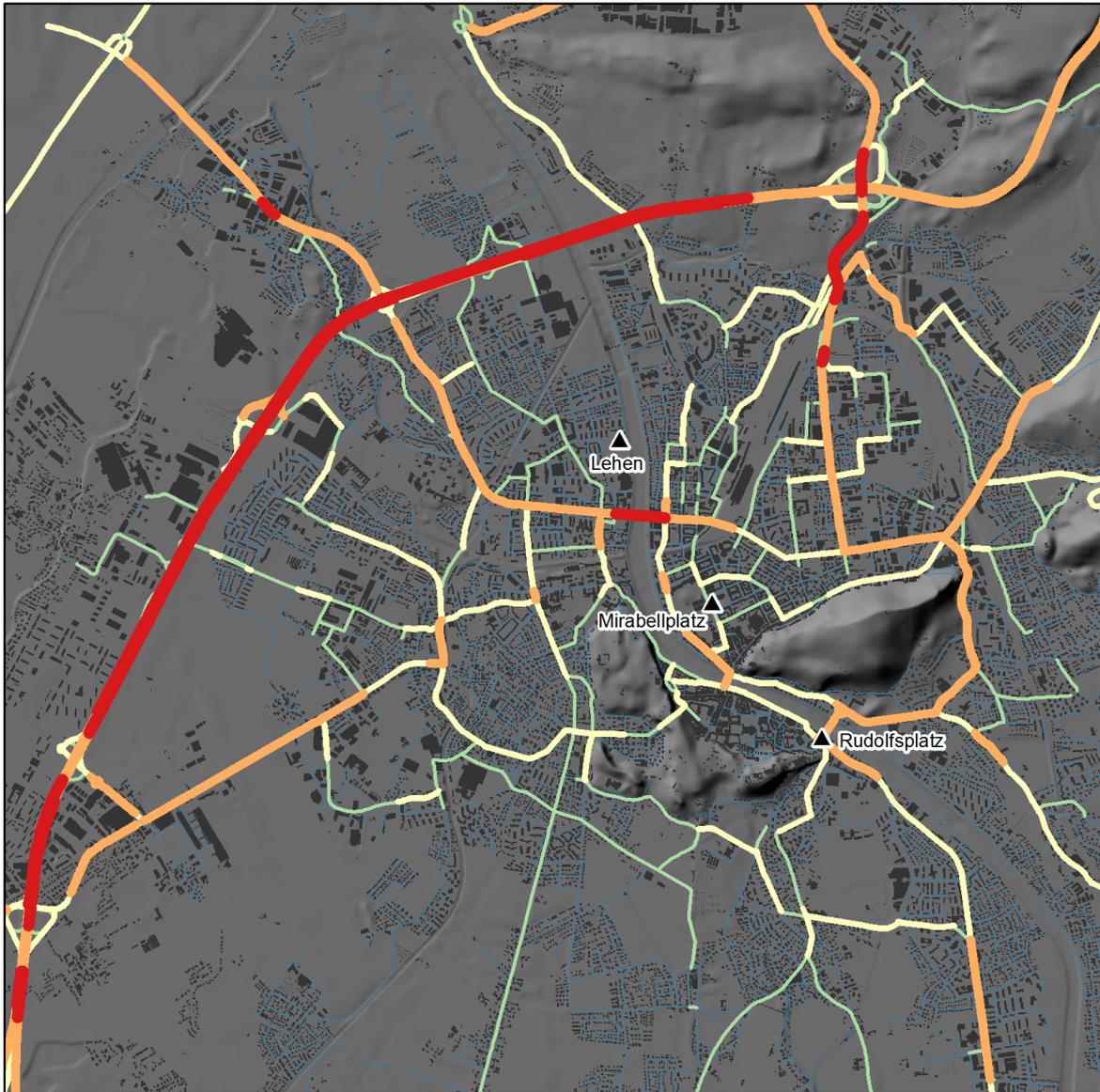


Abbildung 19: NO_x-Linienquellen Im Untersuchungsgebiet

Salzburg Stadt

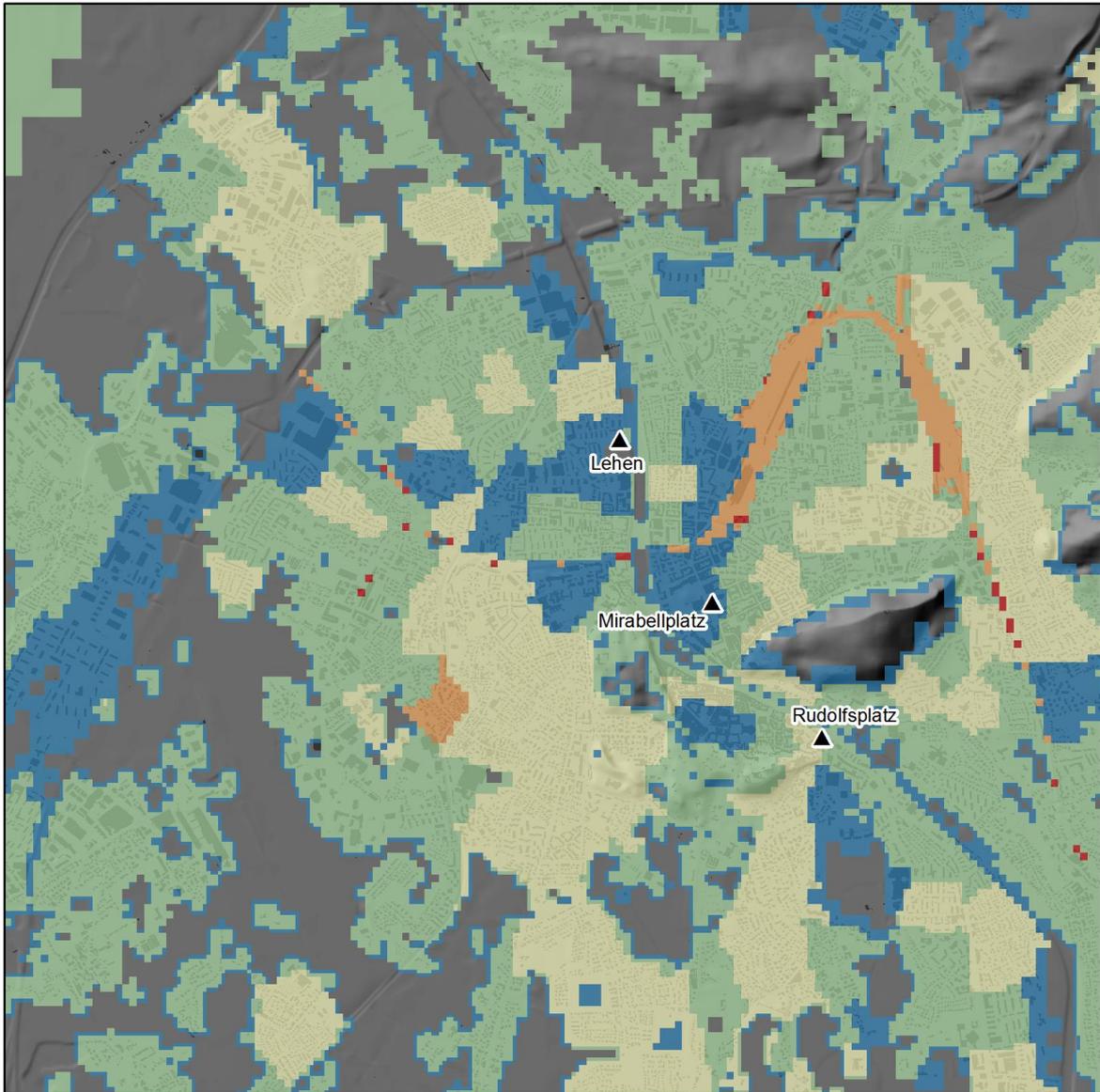


Abbildung 20: NO_x-Flächenquellen im Untersuchungsgebiet

6 Simulationen

6.1 Strömungsmodellierung

Die Modellierung der Strömungsfelder wurde mit dem Modell GRAMM (Version 2012/06) mit einer horizontalen Auflösung von 250 m x 250 m durchgeführt. 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 6).

In Abbildung 21 und Abbildung 23 werden die simulierten Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung mit den gemessenen Häufigkeitsverteilungen verglichen. Die Hauptwindrichtungen stimmen bei fast allen Stationen sehr gut überein. Bei der Station Hallein Eisenbahn werden Windrichtungen aus SW simuliert, welche nicht gemessen wurden.

Abbildung 22 und Abbildung 24 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.

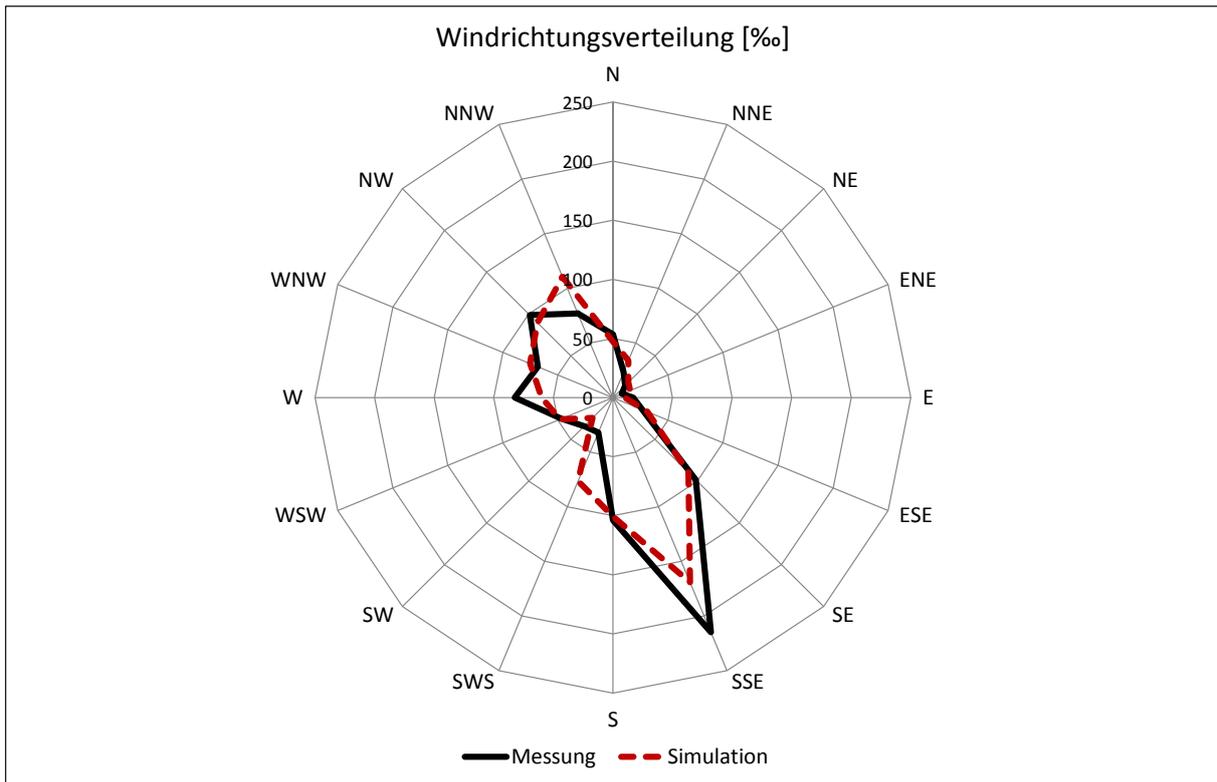


Abbildung 21: Windrose Flughafen Salzburg, Vergleich Messung gegen Simulation

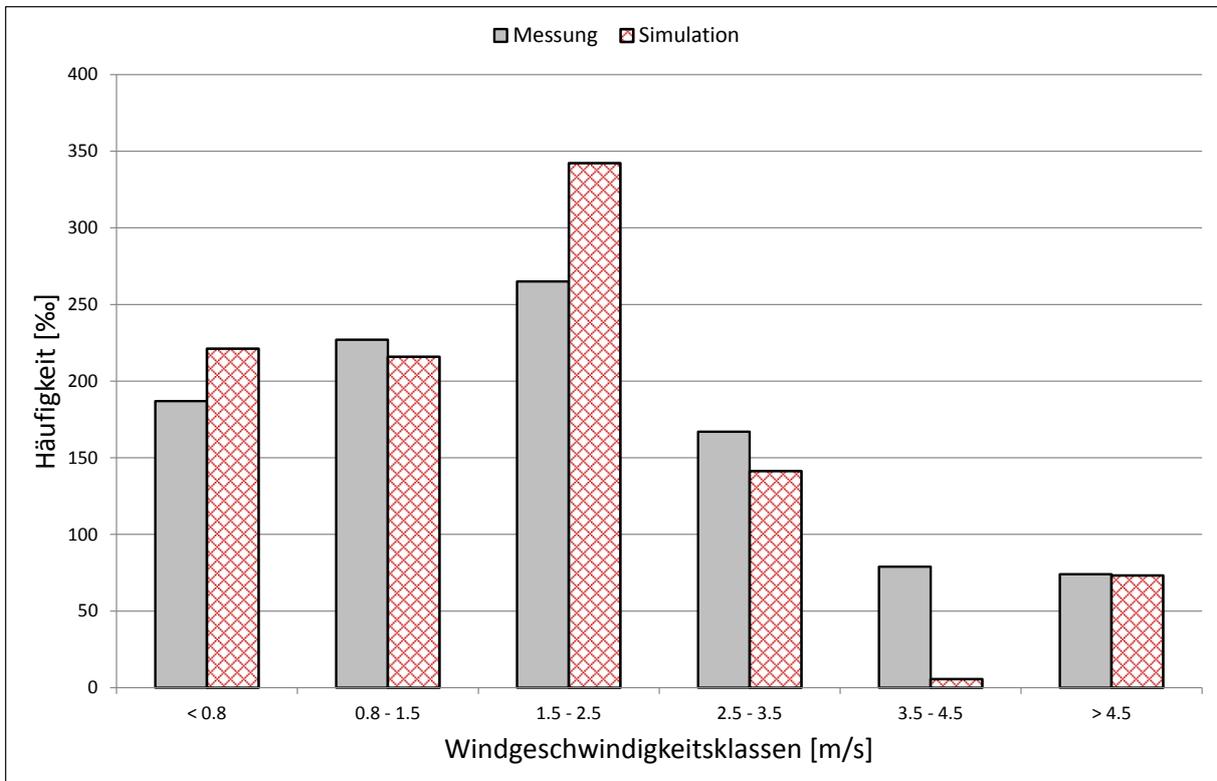


Abbildung 22: Windgeschwindigkeitsklassen Flughafen Salzburg, Vergleich Messung gegen Simulation

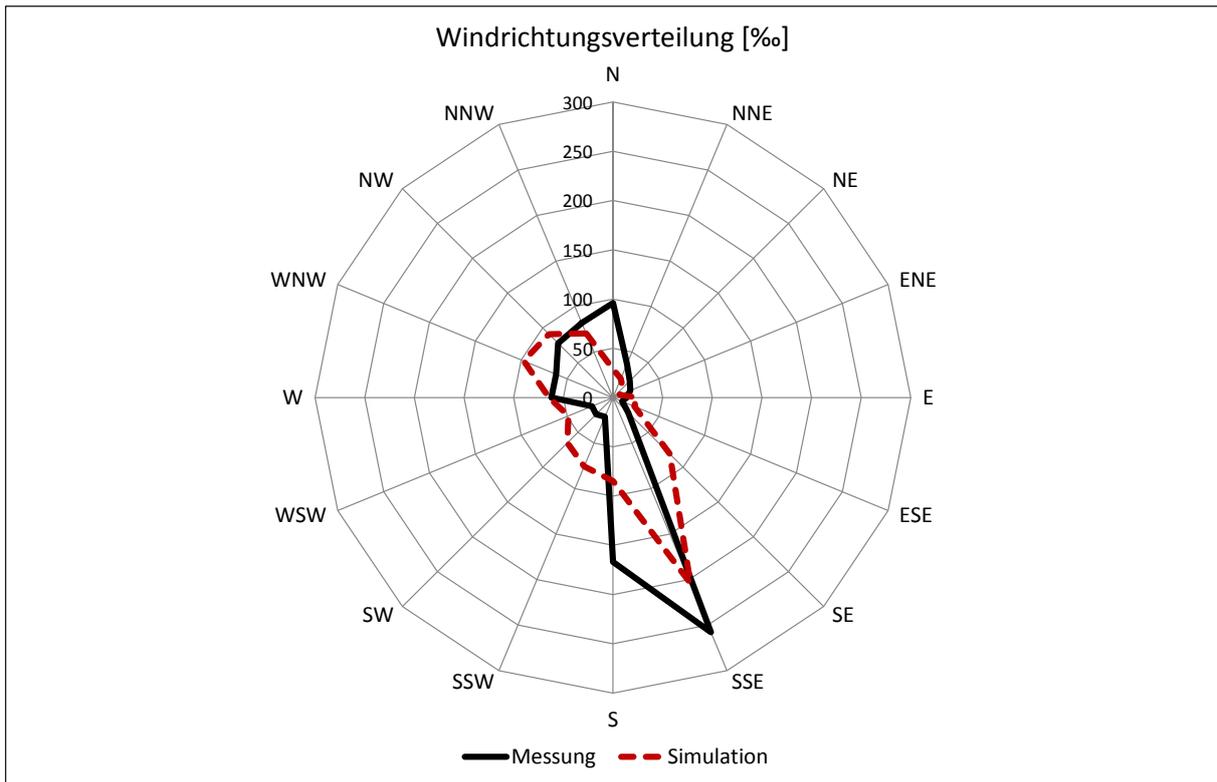


Abbildung 23: Windrose Kapuzinerberg, Vergleich Messung gegen Simulation

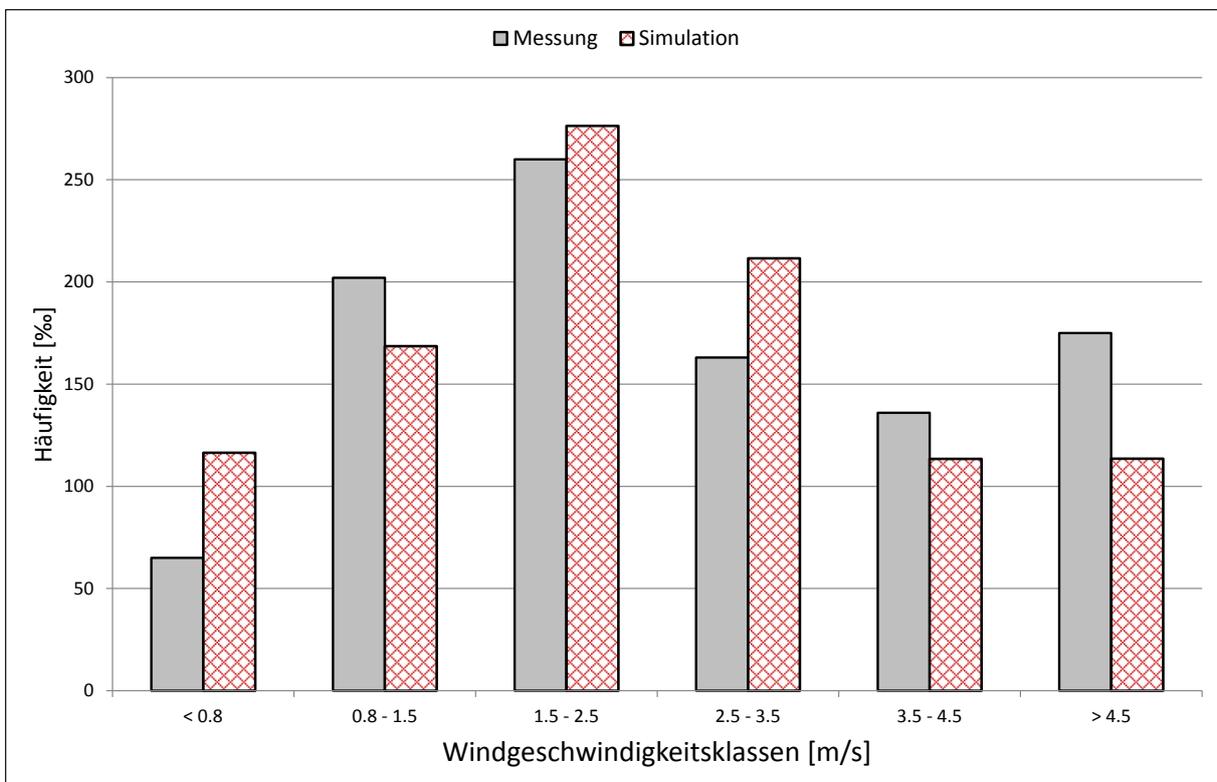


Abbildung 24: Windgeschwindigkeitsklassen Kapuzinerberg, Vergleich Messung gegen Simulation

6.2 Jahresmittelwert Stickstoffmonoxid (NO_x)

Die Quellgruppe Bahn wird in der Immissionsberechnung nicht mit einbezogen. Der Grund hierfür ist die schlechte Datengrundlage dieser Quellgruppe. Die dadurch entstehende Unterschätzung in den Immissionskonzentrationen kann großflächig aufgrund der geringen Emission von rund 30 Tonnen pro Jahr vernachlässigt werden. Lokal, wie beispielsweise bei Verschiebebahnhöfen, kann der Unterschied merklich größer ausfallen.

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 Hintergrundbelastung wurde in Abhängigkeit von der Seehöhe ermittelt (siehe Kapitel 5.2.3).

Die Kaminemissionen der Punktquellen verursachen in begrenzten Gebieten maximale Immissionsbelastungen von über 5 µg/m³. Der Einfluss auf die urbane Grundbelastung ist mit unter 1 µg/m³ gering.

Die berechneten Immissionsbelastungen durch den Flächenverkehr erreichen maximal 2-5 µg/m³. Im Stadtgebiet Salzburg trägt diese Quellgruppe nur bedingt zur Gesamtbelastung bei, da in diesem Bereich das Straßennetz (Linienquellen) die meisten Nebenstraßen erfasst.

Bei der Quellgruppe Kleinverbraucher betragen die höchsten Konzentrationen 10-20 µg/m³. Großflächig liegt der Beitrag zwischen 2 und 10 µg/m³.

Bei der Quellgruppe Off-Road liegen die Immissionen im Bereich von 2 bis 5 µg/m³.

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 Stadtgebiet wird flächendeckend über 1 µg/m³ modelliert.

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.

Die gesamte modellierte jahresdurchschnittliche Belastung wird in Abbildung 33 dargestellt.

Salzburg Stadt

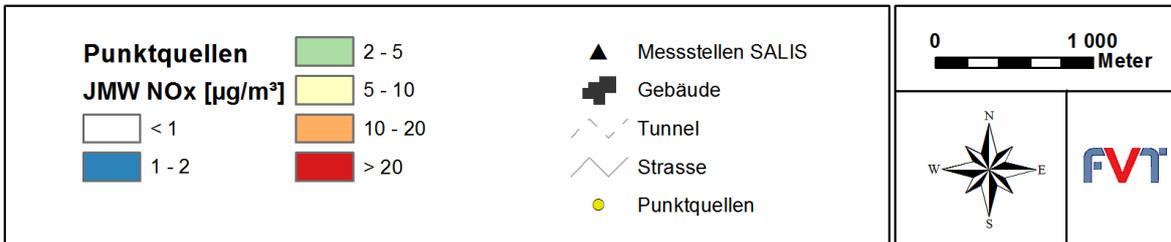
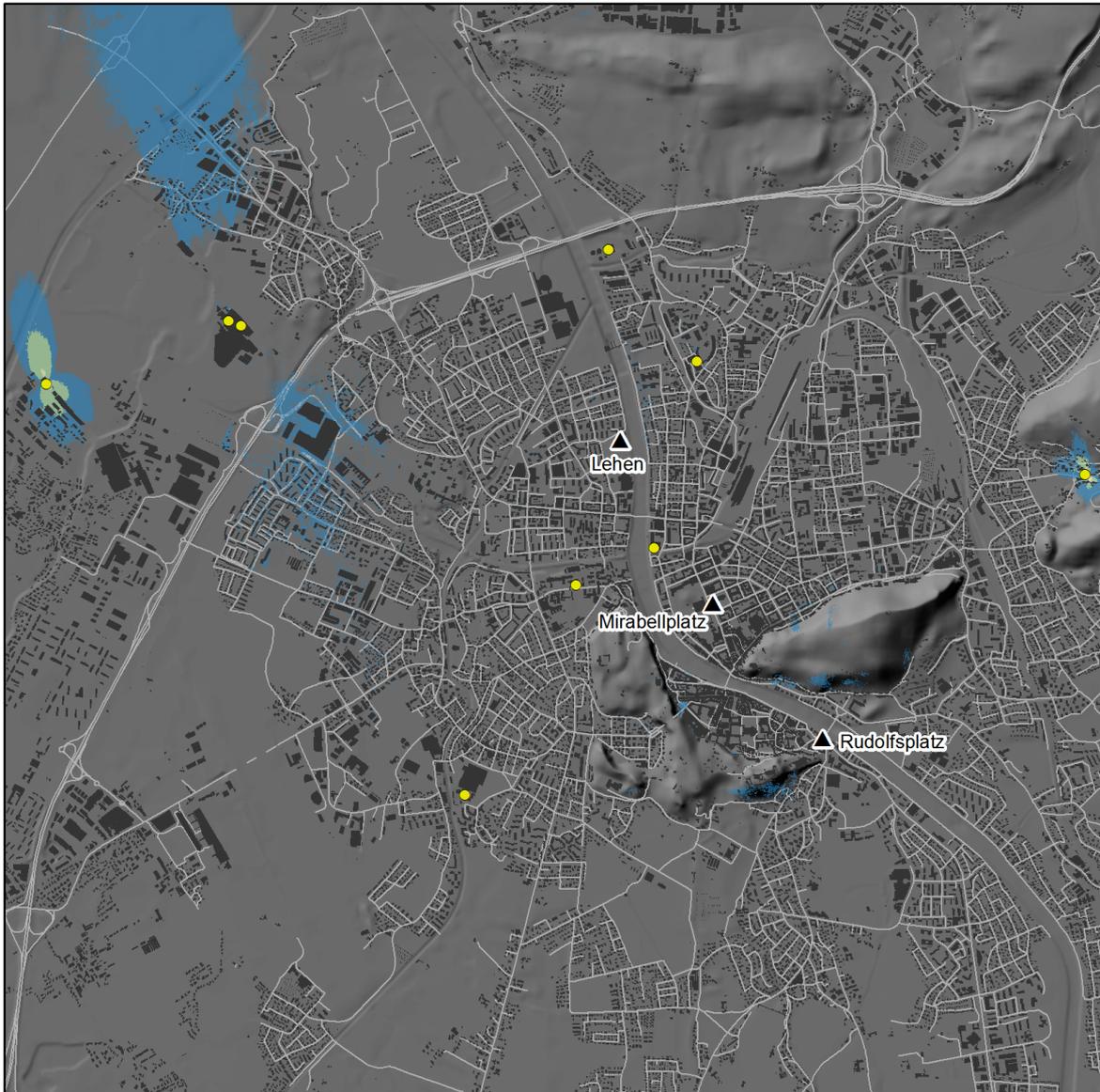


Abbildung 25: Modellierter NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Punktquellen (Gewerbe, Industrie, Heizkraftwerke, Heizwerke)

Salzburg Stadt

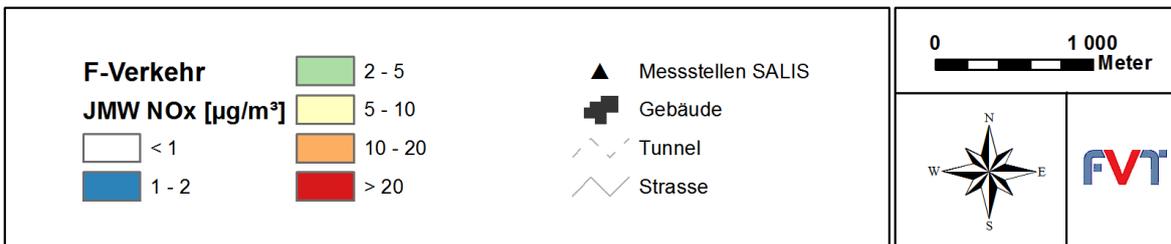
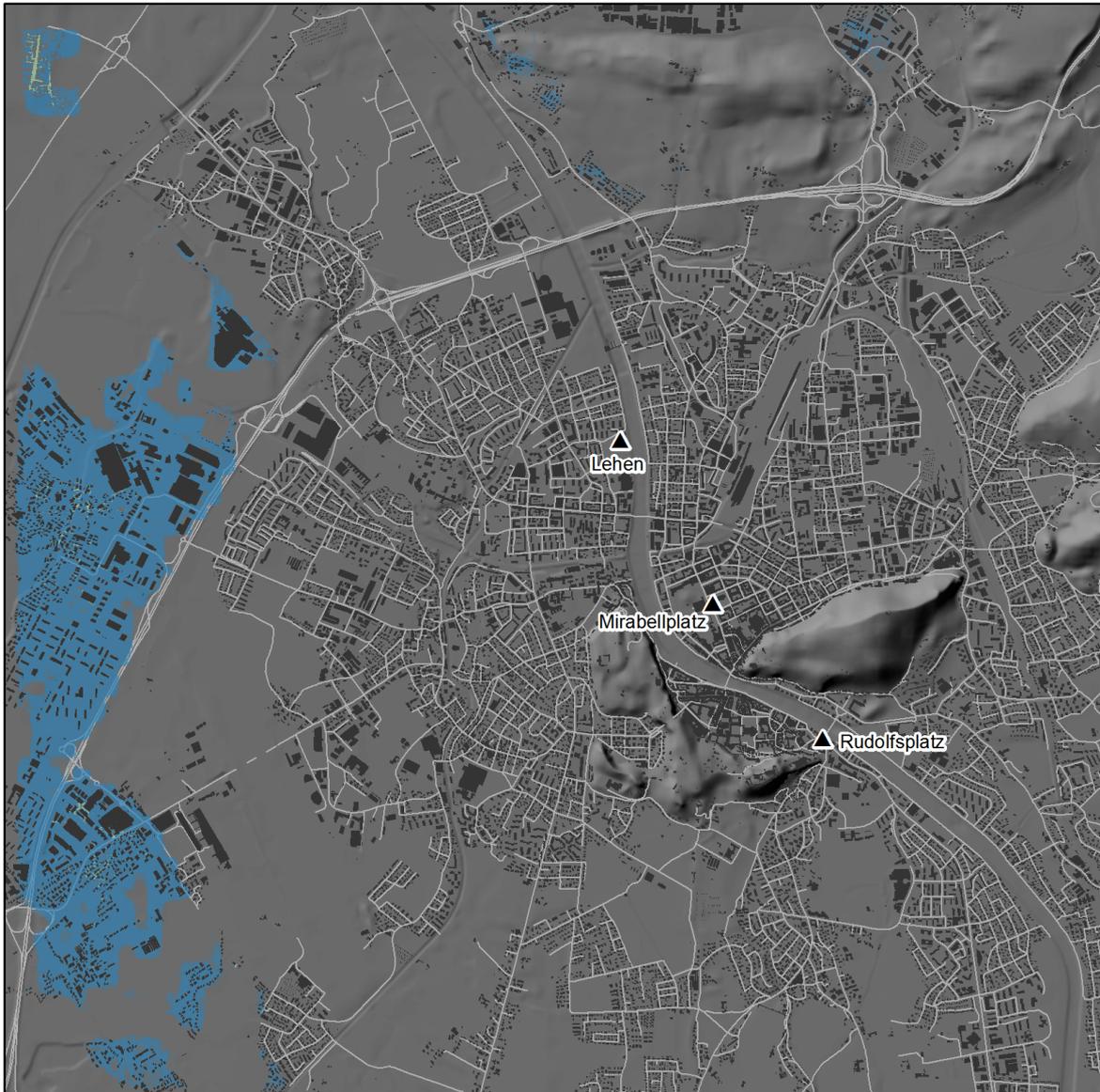


Abbildung 26: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel - Flächenverkehr

Salzburg Stadt

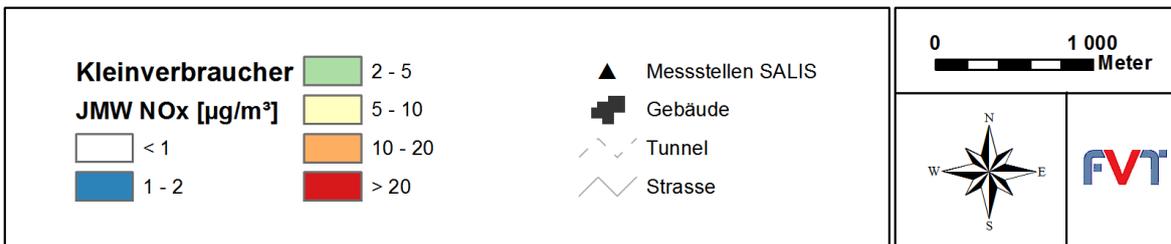
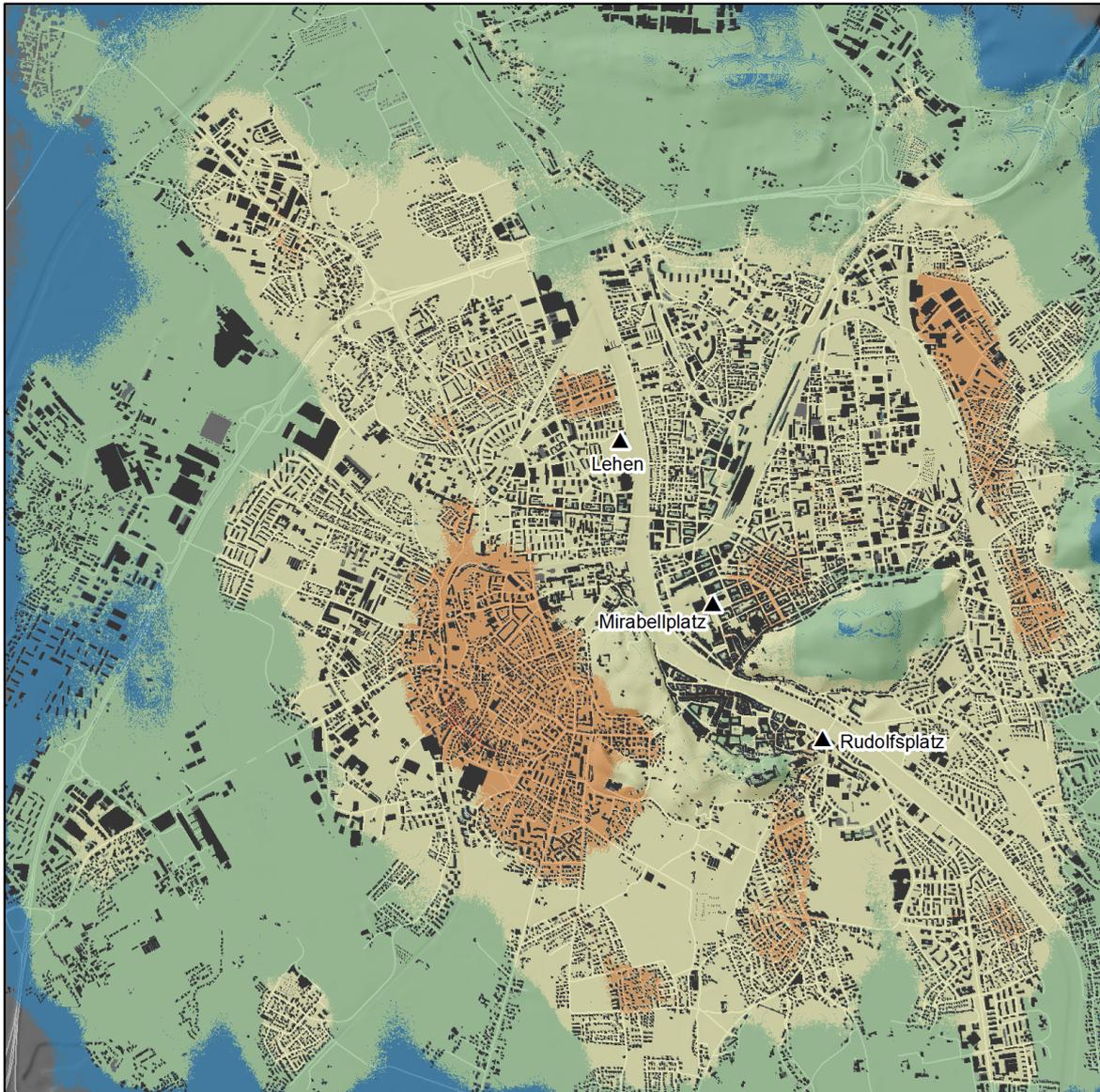


Abbildung 27: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel - Kleinverbraucher

Salzburg Stadt

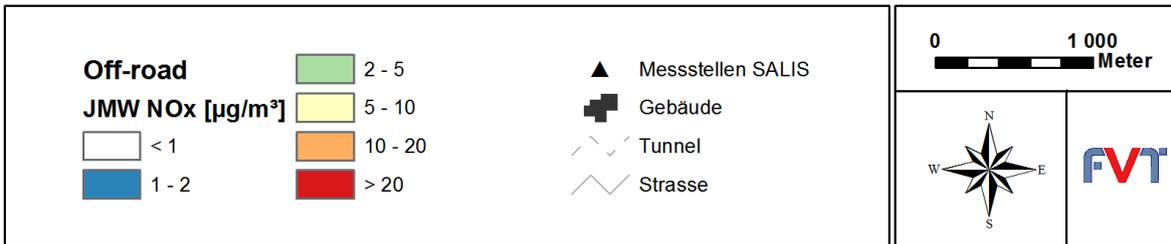
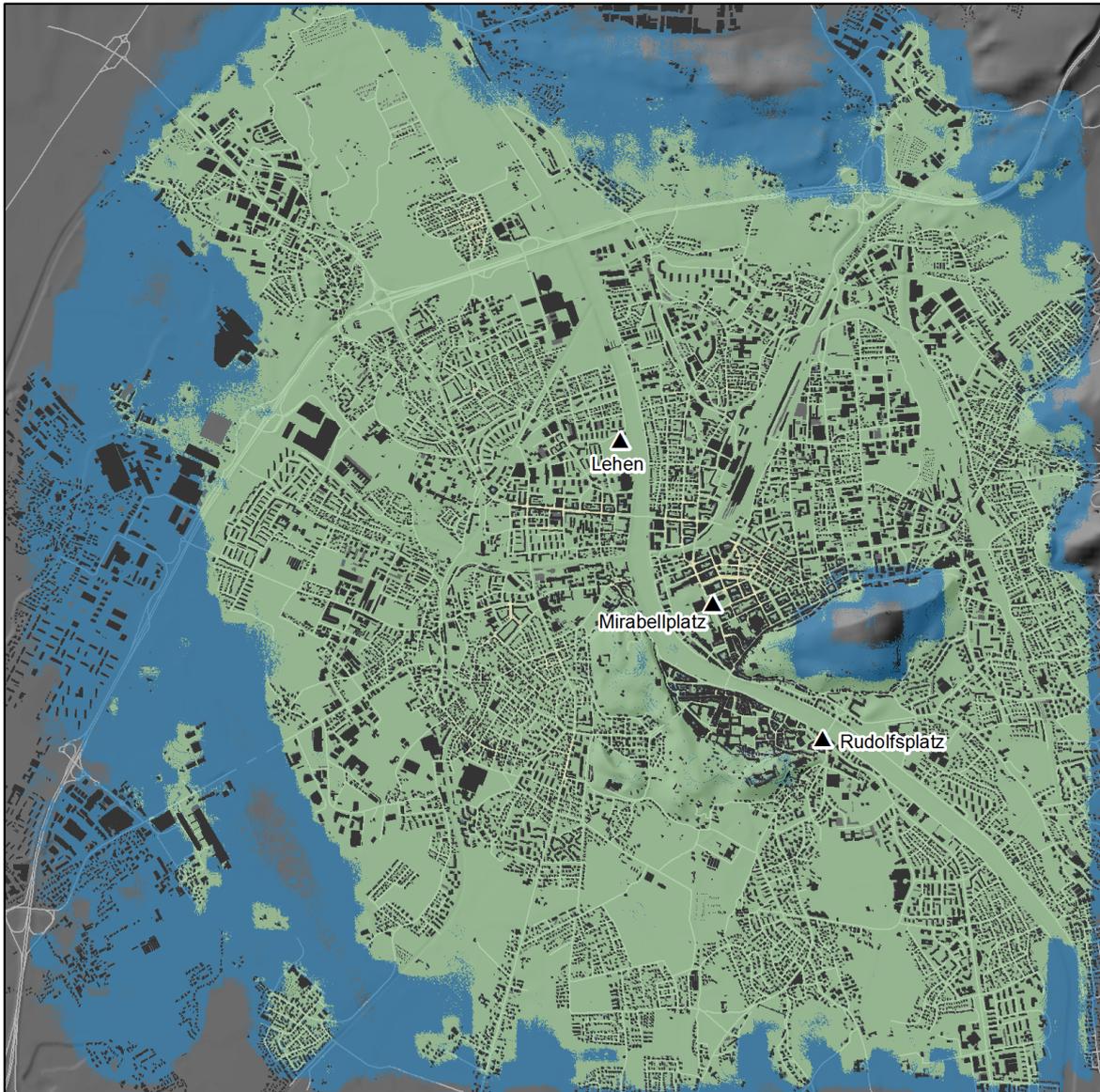


Abbildung 28: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Off-Road (Baumaschinen, Traktoren, ...)

Salzburg Stadt

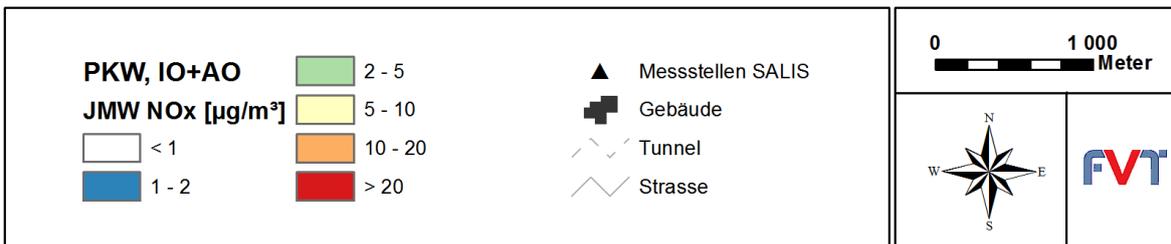
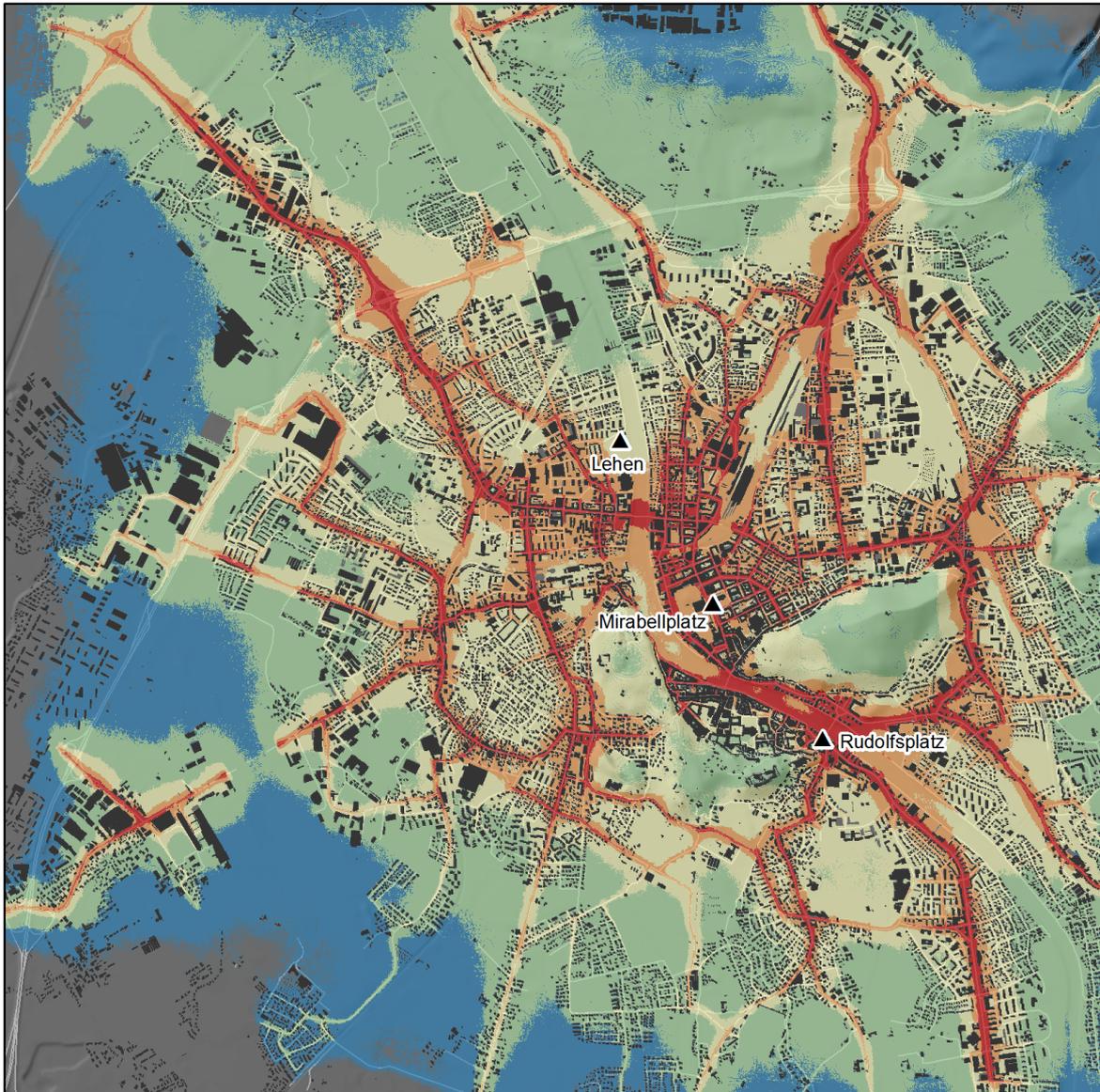


Abbildung 29: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – PKW, Innerorts und Außerorts

Salzburg Stadt

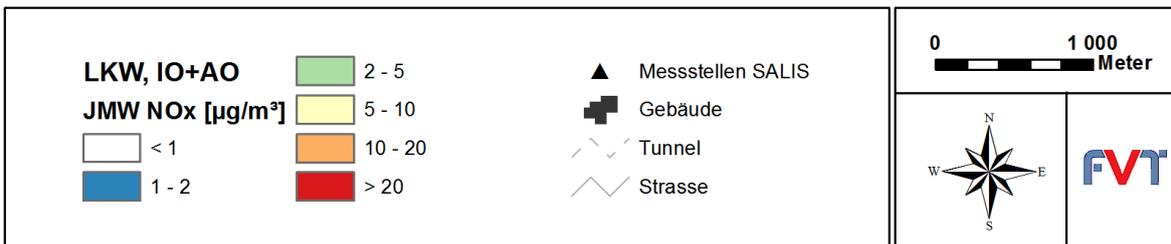
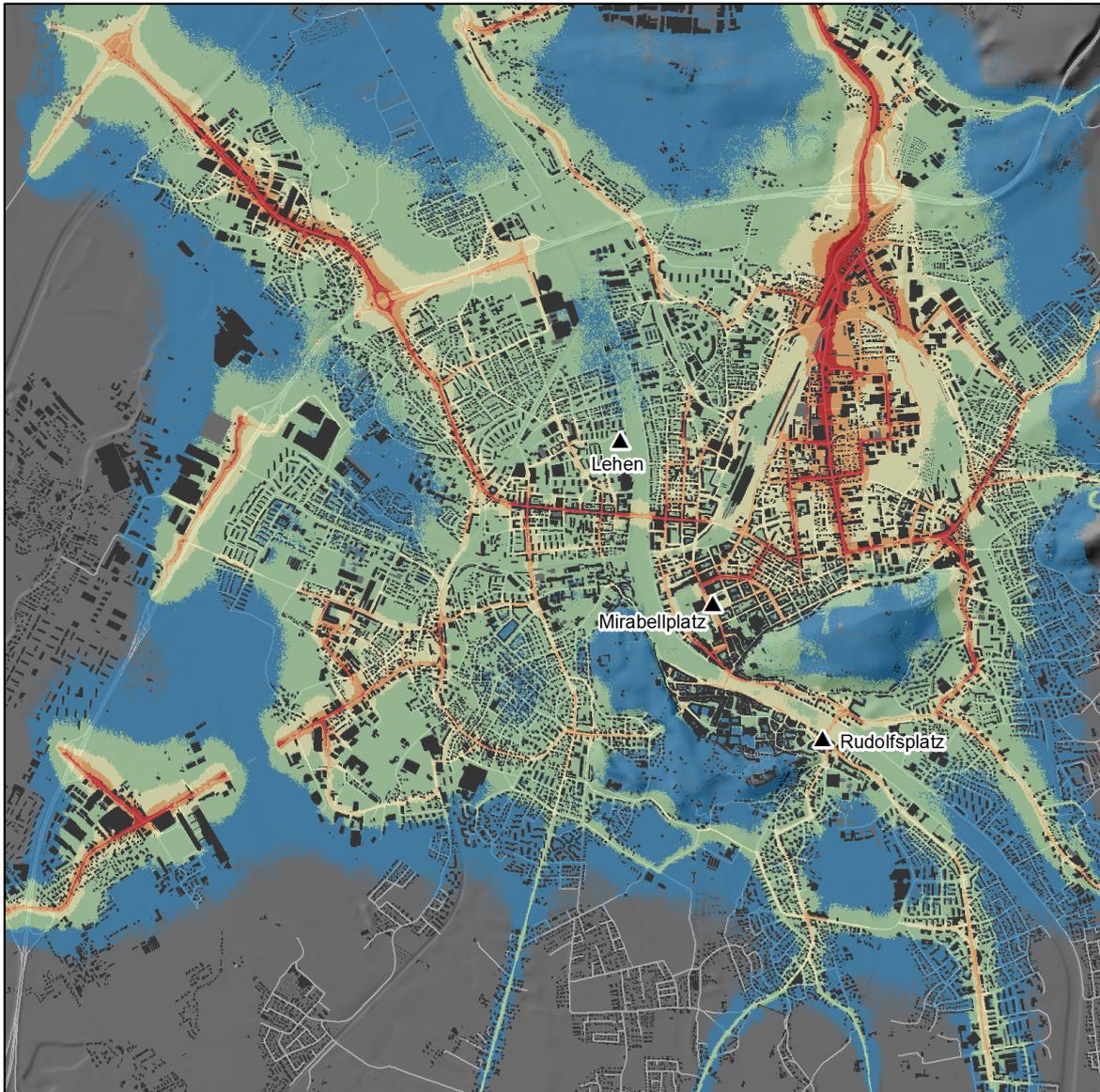


Abbildung 30: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel - LKW, Innerorts und Außerorts

Salzburg Stadt

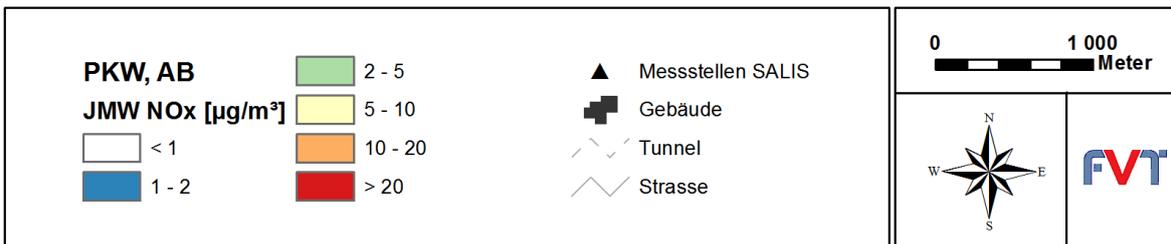
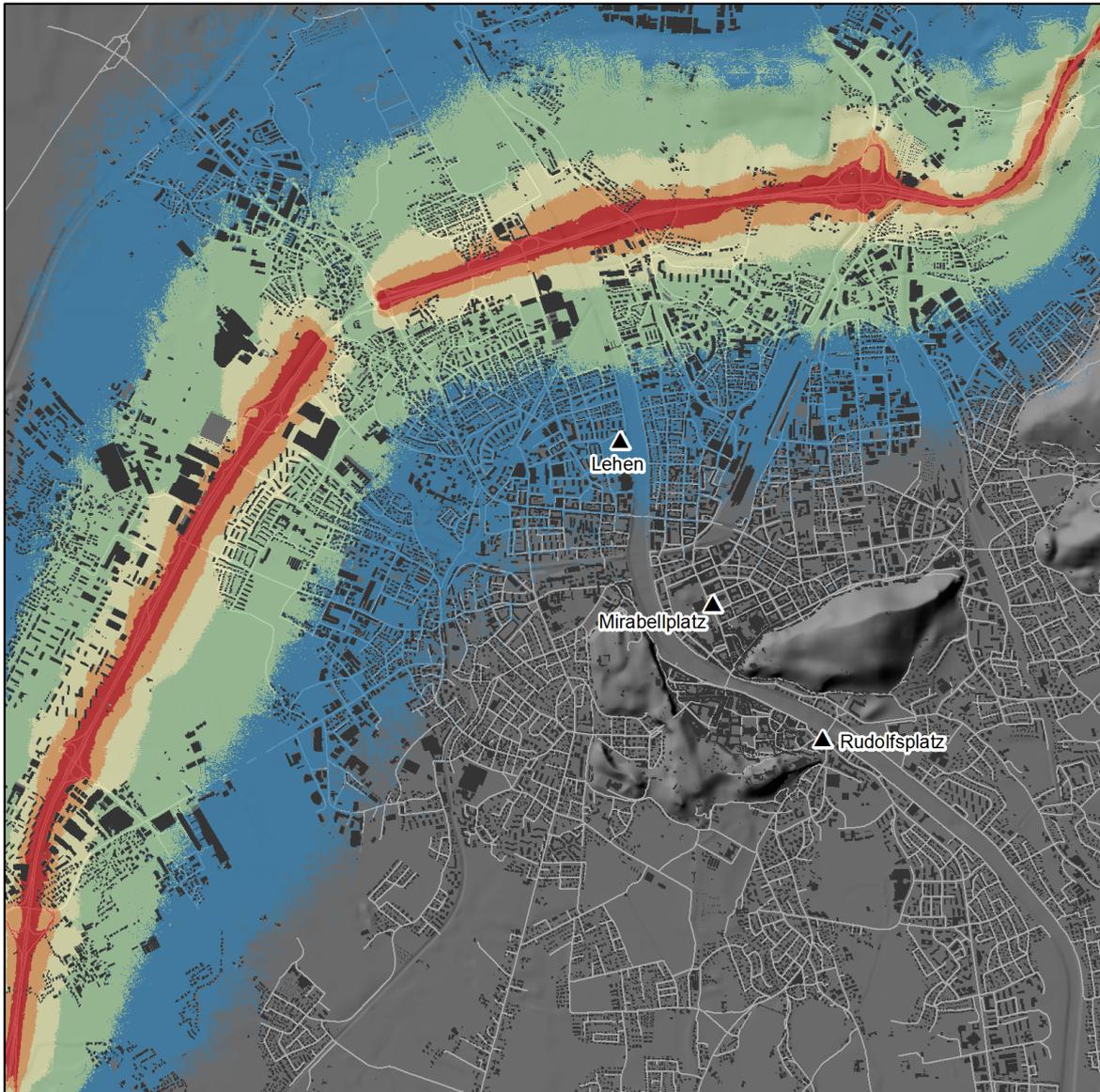


Abbildung 31: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel - PKW, Autobahn

Salzburg Stadt

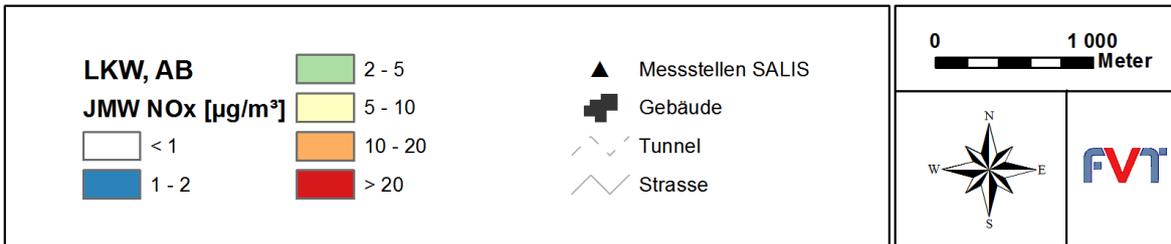
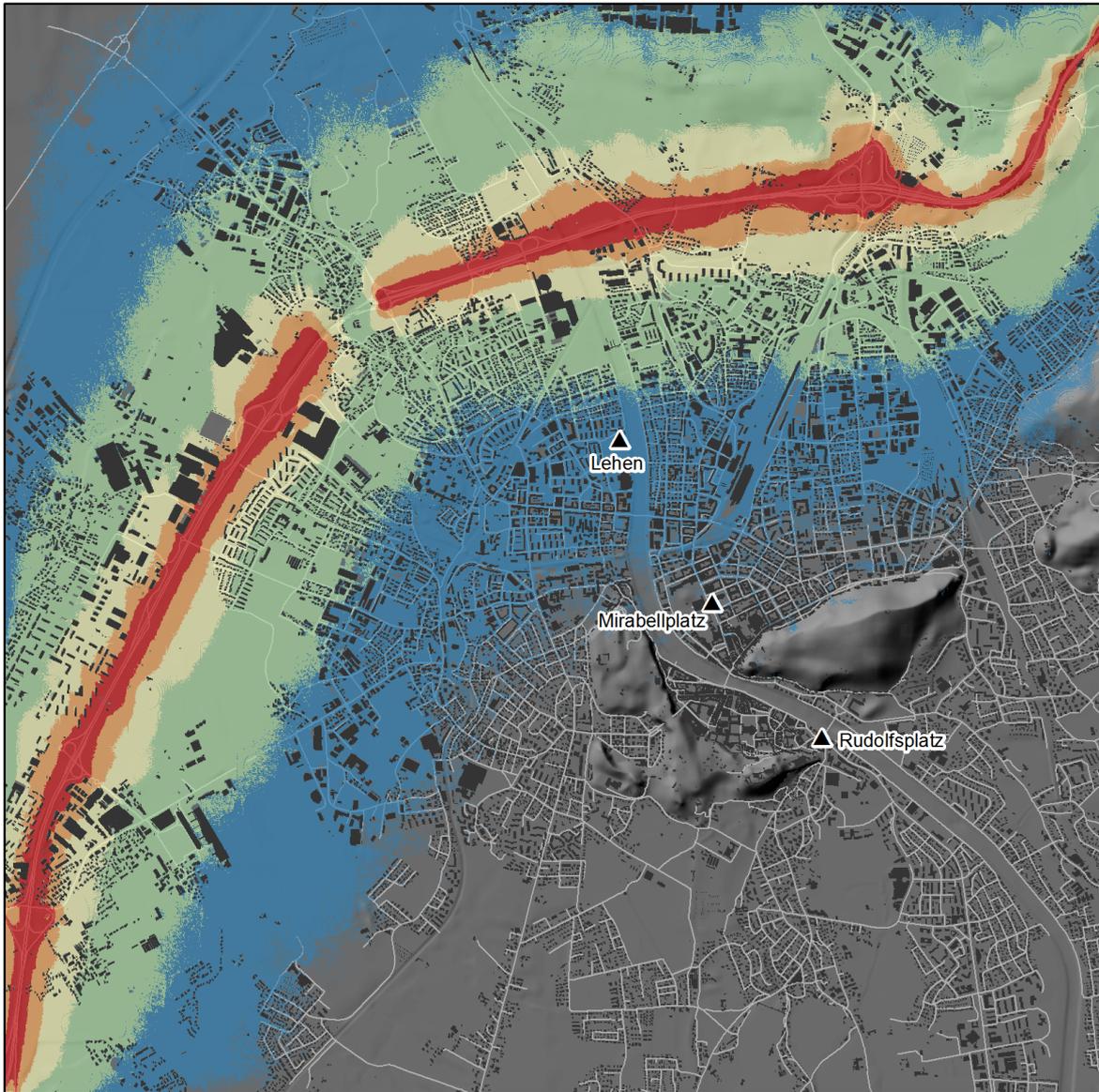


Abbildung 32: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel - LKW, Autobahn

Salzburg Stadt

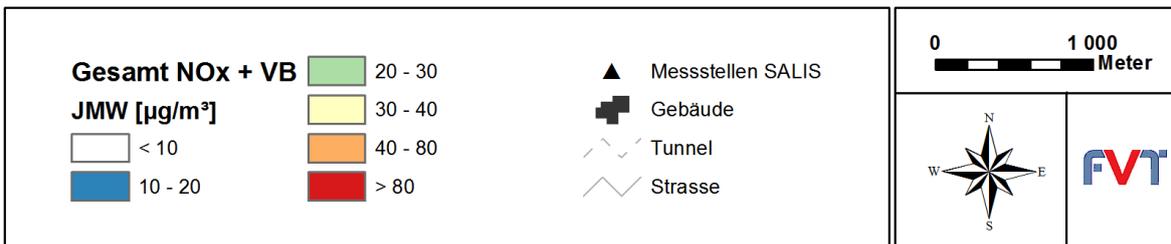


Abbildung 33: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung

6.2.2 Vergleich mit Messdaten

Abbildung 34 zeigt den Vergleich zwischen den errechneten und den gemessenen jahresdurchschnittlichen Werten bei den kontinuierlichen Messstationen. Bei den Stationen Lehen und Mirabellplatz ergibt sich eine relativ gute Übereinstimmung. Bei der Station Rudolfsplatz fällt der errechnete Wert deutlich niedriger als der Messwert aus.

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

Bei der Messstation Rudolfsplatz ist die Unterschätzung zum Teil darauf zurückzuführen, dass beispielsweise bei der Berechnung der Verkehrsemissionen die Stautunden nicht berücksichtigt wurden. Besonders bei dieser Kreisverkehrssituation ist mehrmaliges Anfahren nötig. Auf stark belasteten innerstädtischen Straßen kann das zu einer Unterschätzung der durchschnittlichen Emissionen führen, da solche Verkehrssituationen im HBEFA nicht genau abbildbar sind. Dazu kommt die Schwierigkeit bei der räumlichen Verortung von komplexen Kreisverkehren.

Bei der Berechnung der Trendlinie in Abbildung 35 wurden die Messwerte mitberücksichtigt, die außerhalb des Untersuchungsgebietes Salzburg Stadt liegen, jedoch im Rahmen des Immissionskatasters Salzburg Stadt bis Eugendorf [19] und des Immissionskatasters Salzburg Zentralraum [20] berechnet wurden.

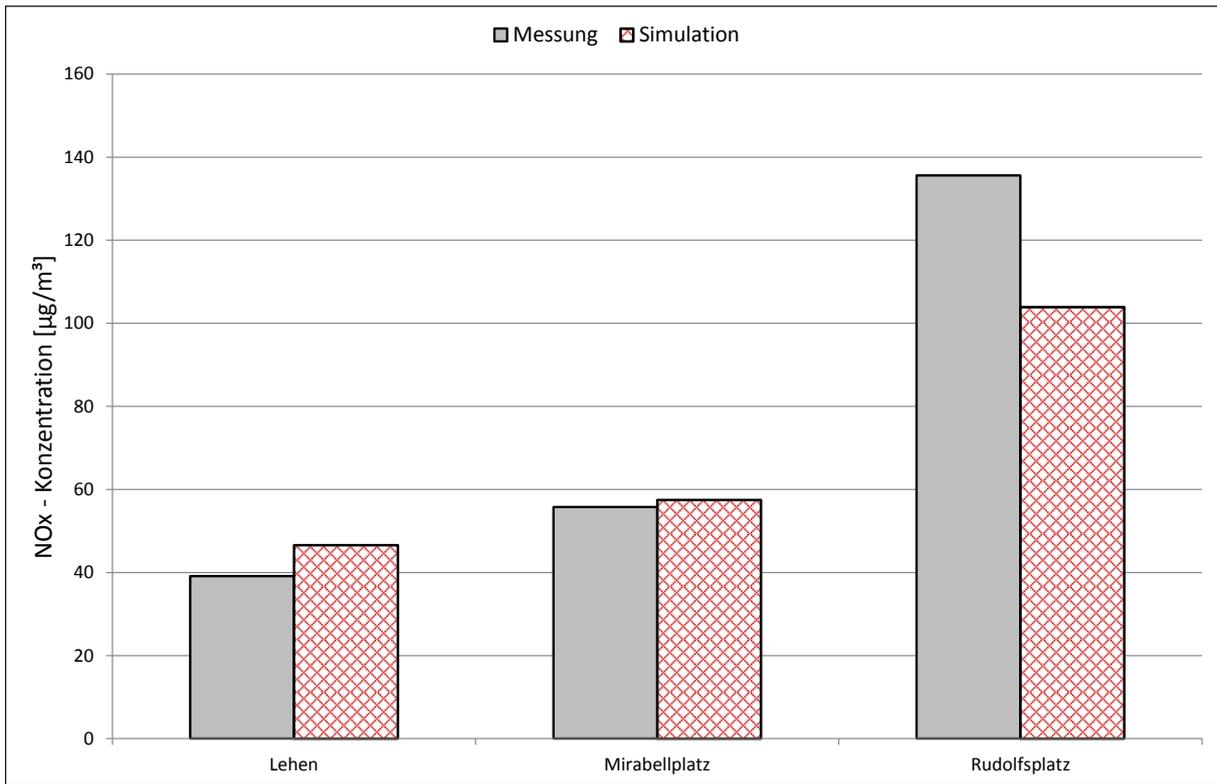


Abbildung 34: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO_x-Jahresmittelwerten (inklusive Vorbelastung) – (1)

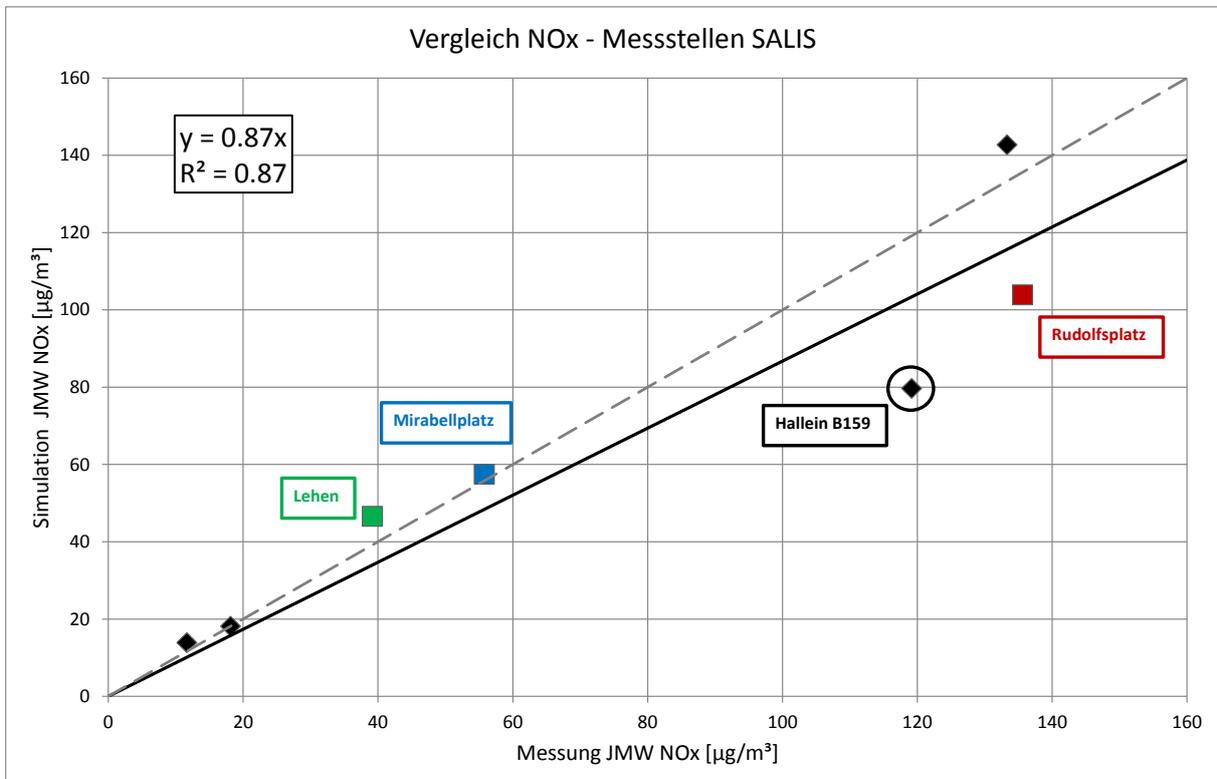


Abbildung 35: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO_x-Jahresmittelwerten (inklusive Vorbelastung) – (2)

6.2.3 Quellgruppenanteile

Die modellierten Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen für den Jahresmittelwert an NO_x sind in Abbildung 36 dargestellt. Bei den meisten Stationen ist der Verkehr die dominierende Quelle.

In Abbildung 37 bis Abbildung 39 werden die Quellgruppenanteile an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration für 3 Messstationen ausgewertet.

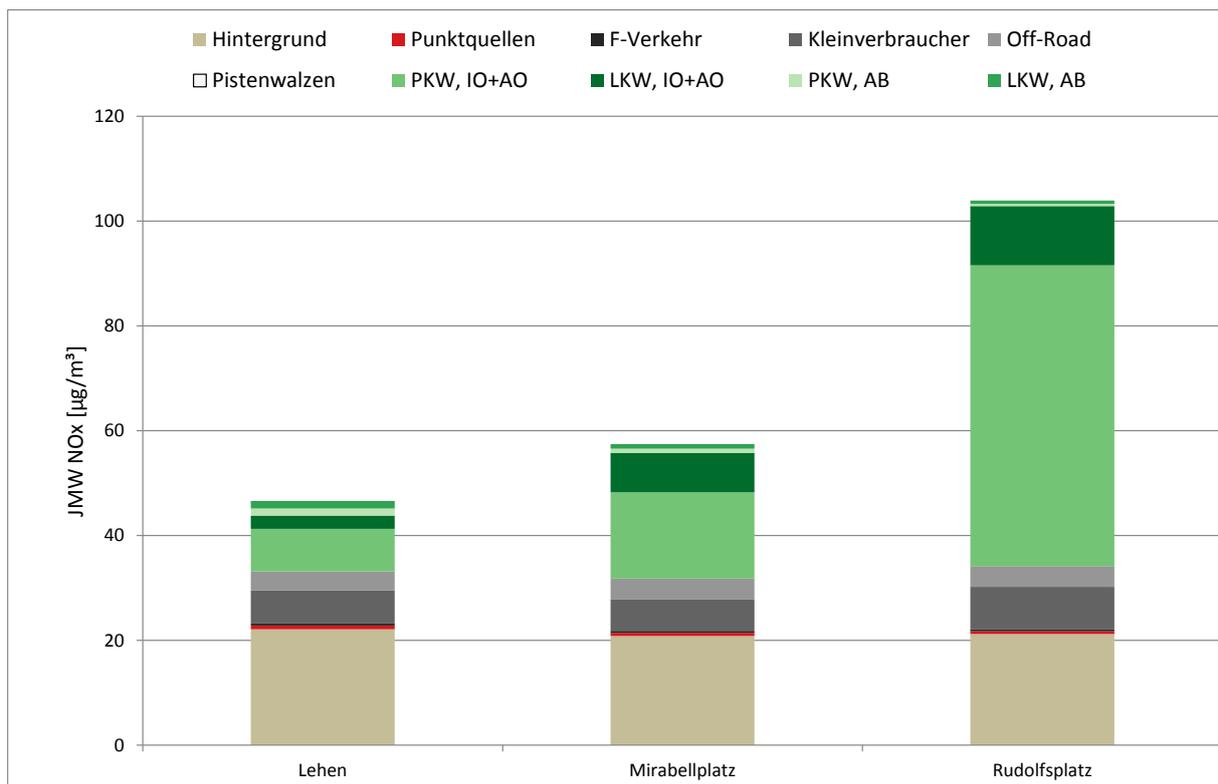


Abbildung 36: Modellierte Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen - JMW NO_x

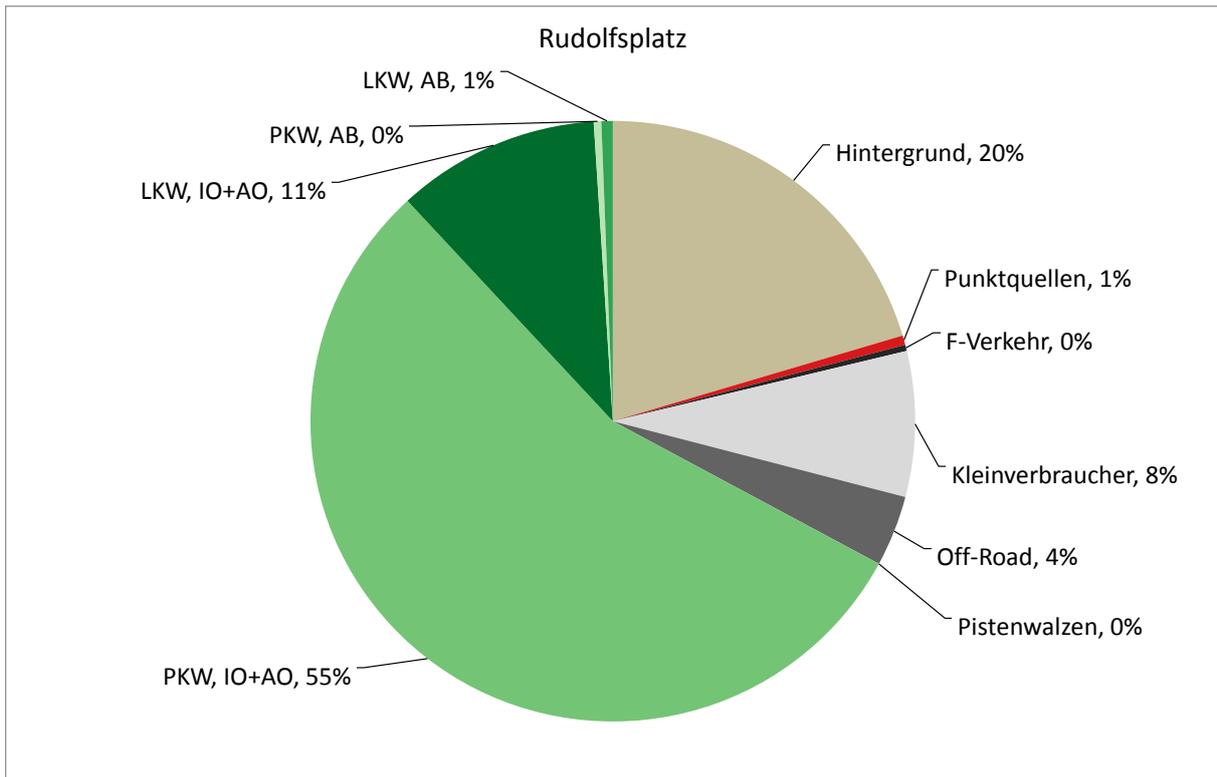


Abbildung 37: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Rudolfsplatz

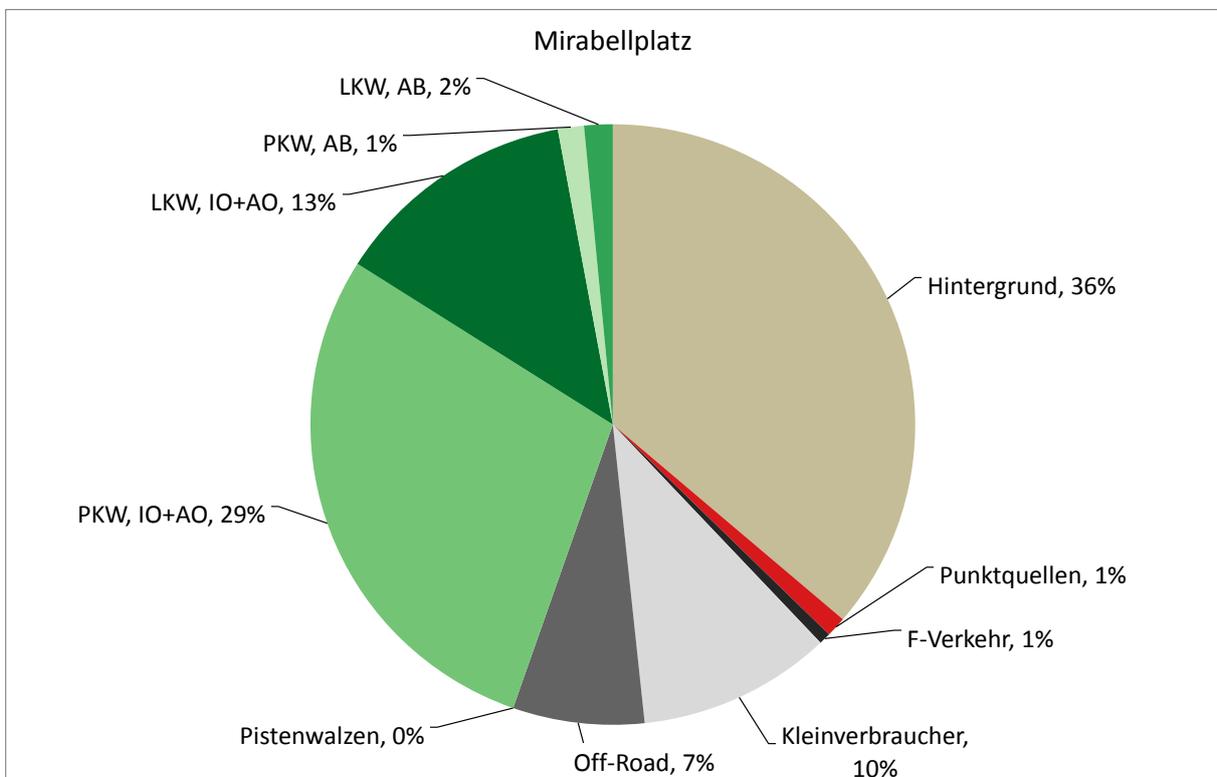


Abbildung 38: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Mirabellplatz

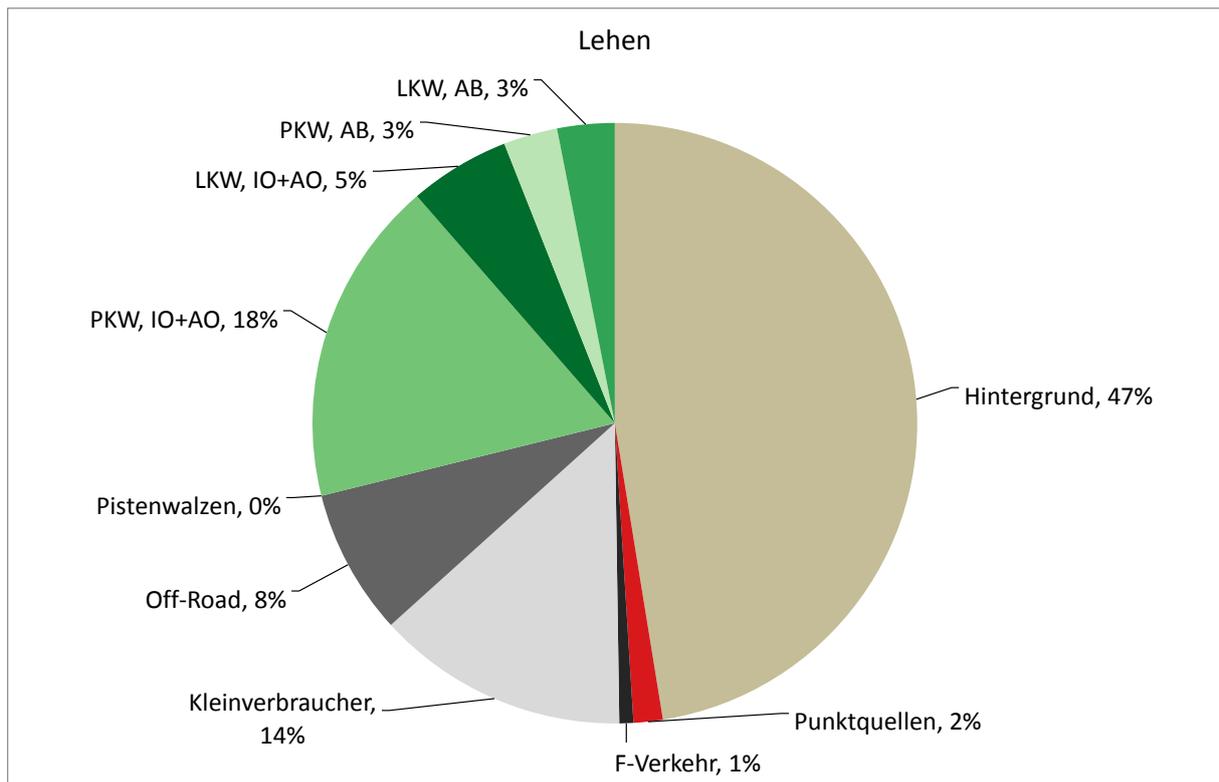


Abbildung 39: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Lehen

6.3 Jahresmittelwert Stickstoffdioxid (NO₂)

Zur Berechnung der jahresdurchschnittlichen NO₂-Belastung wurde die Umwandlungsfunktion nach Romberg verwendet (Kapitel 4.3.6).

6.3.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den Jahresmittelwert an NO₂ ist in Abbildung 40 dargestellt. Die höchsten Belastungen treten entlang der West-Autobahn auf. In der Innenstadt liegen die Belastungen großteils über 25 µg/m³, außer beim Kapuzinerberg und in der Gegend um den Mönchsberg. Ein Wert von über 40 µg/m³ wird entlang der Westautobahn und einigen Hauptverkehrsstraßen simuliert.

Salzburg Stadt

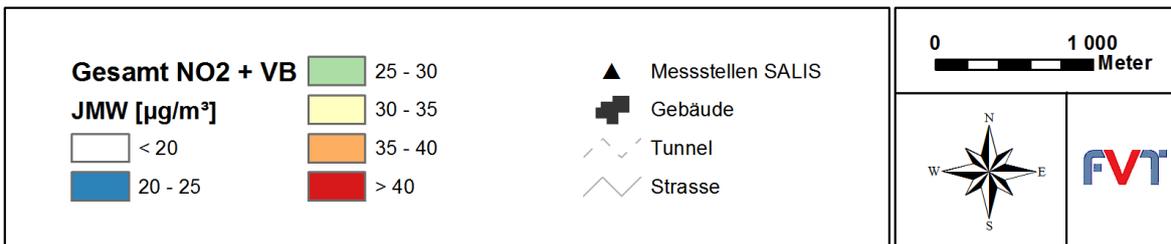
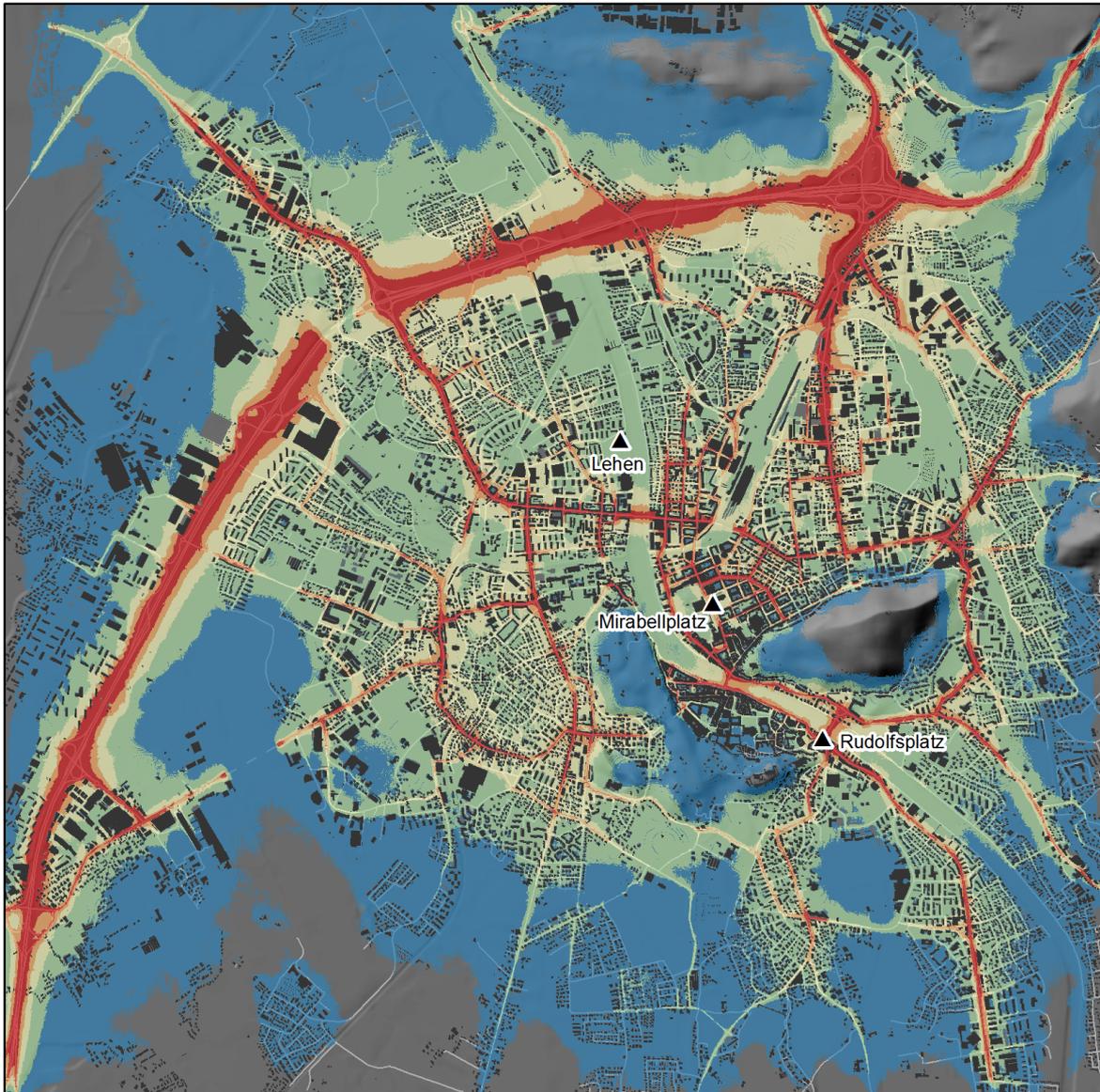


Abbildung 40: Modellierte NO₂-Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung

6.3.2 Vergleich mit Messdaten

In Abbildung 41 und Abbildung 42 werden die berechneten jahresdurchschnittlichen NO₂-Konzentrationen mit den Messwerten der kontinuierlichen Luftgütemessstationen im Untersuchungsgebiet verglichen. Wie für den Jahresmittelwert an NO₂ ergibt sich bei der Station Rudolfsplatz eine geringe Unterschätzung des Modelles. Bei den restlichen Stationen passen Simulation und Messung sehr gut überein.

Neben den Daten der kontinuierlichen Messstationen standen die Ergebnisse der NO₂-Passivsammler zur Verfügung. In Abbildung 43 und Abbildung 44 werden die Simulationsergebnisse mit diesen Messwerten aus dem Jahr 2010 verglichen. Insgesamt ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit dem Modell.

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

In Abbildung 42 wurden zudem die Immissionskonzentrationen weiterer 4 Stationen eingezeichnet. Diese Werte stammen aus dem Immissionskataster Salzburg Stadt bis Eugendorf [19] und dem Immissionskataster Salzburg Zentralraum [20].

Bei der Berechnung der Trendlinie in Abbildung 42 wurden die Messwerte, die außerhalb des Untersuchungsgebietes Salzburg Stadt liegen, mitberücksichtigt.

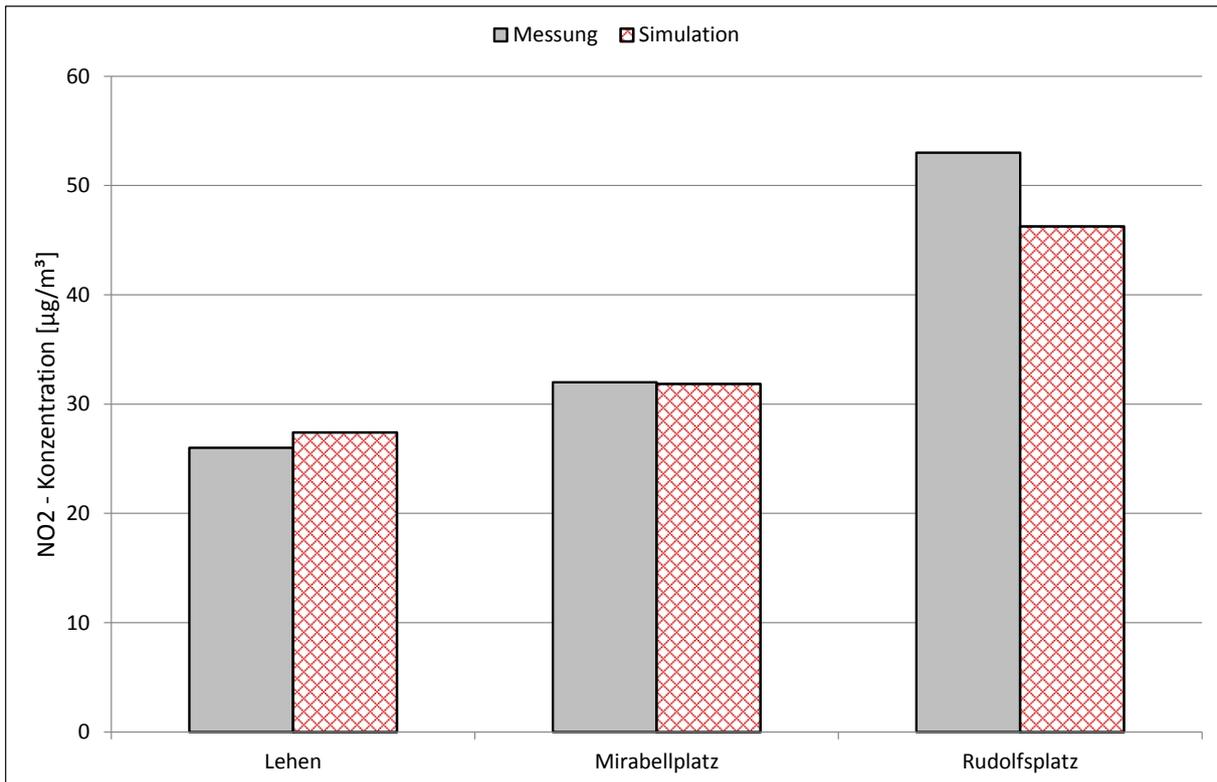


Abbildung 41: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO₂-Jahresmittelwerten – (1)

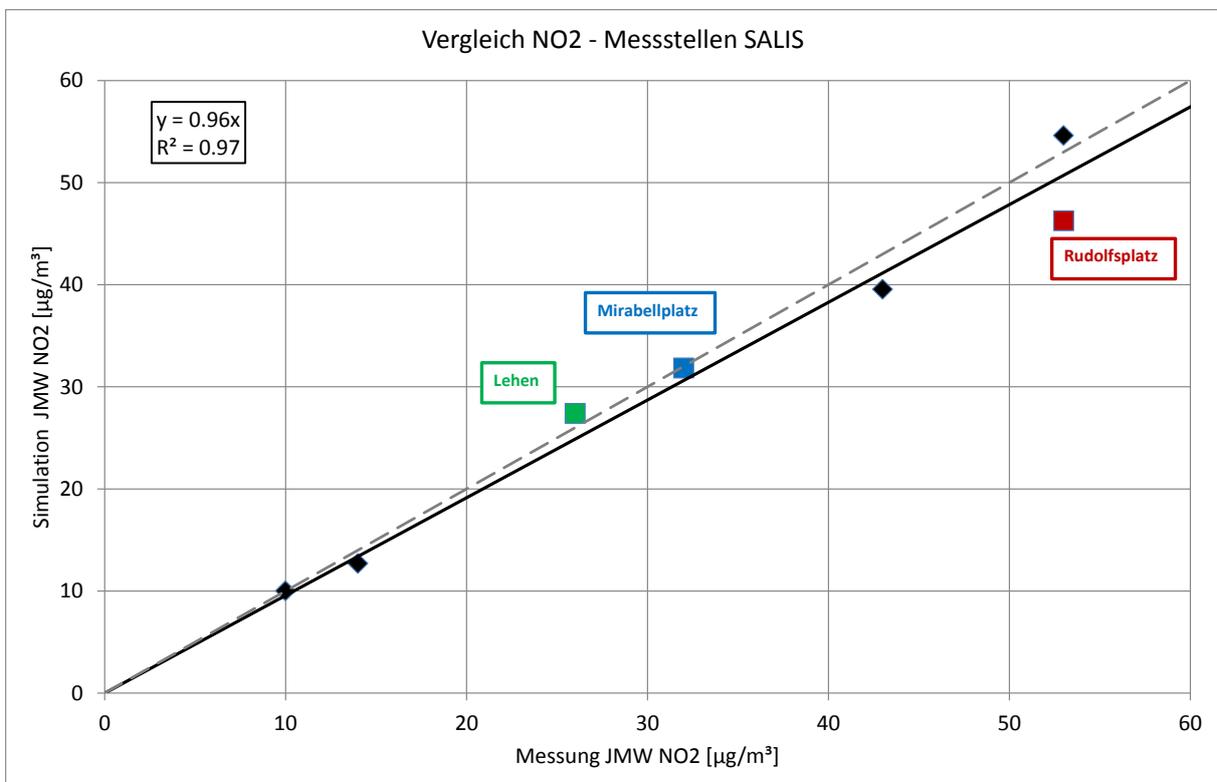


Abbildung 42: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO₂-Jahresmittelwerten – (2)

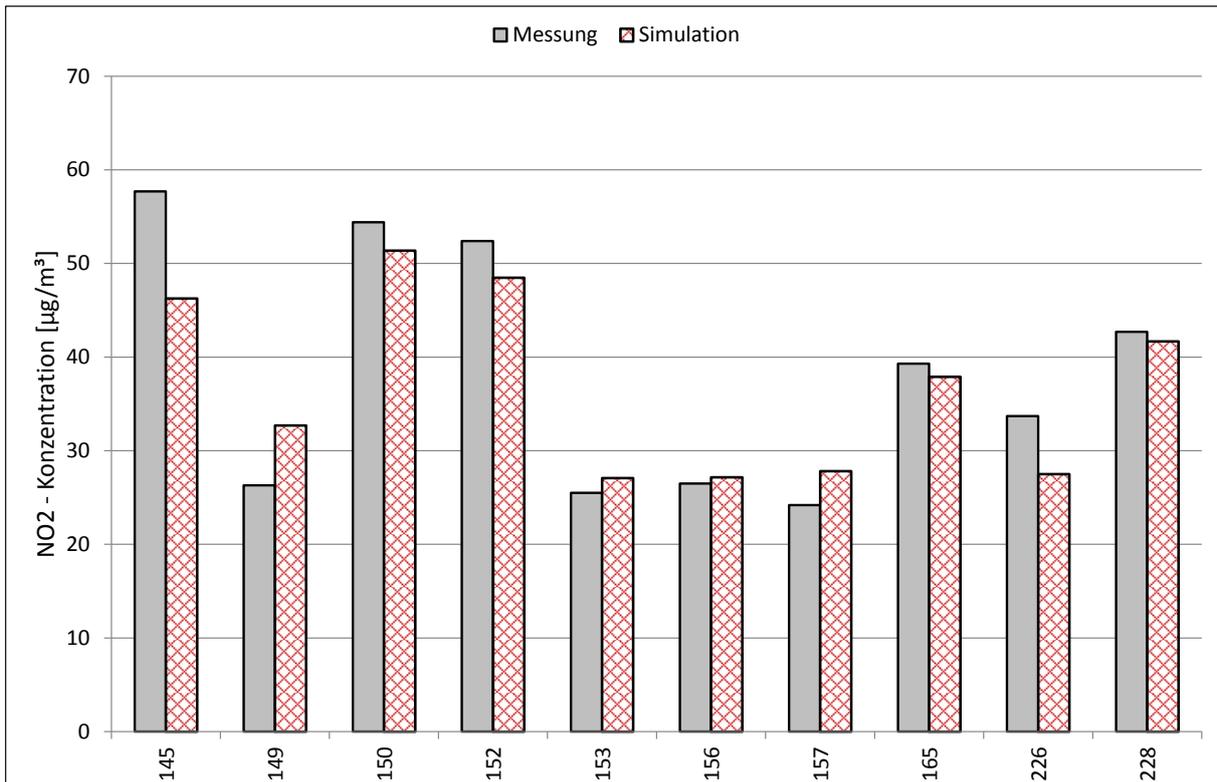


Abbildung 43: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO_2 -Jahresmittelwerten - Passivsammler - (1)

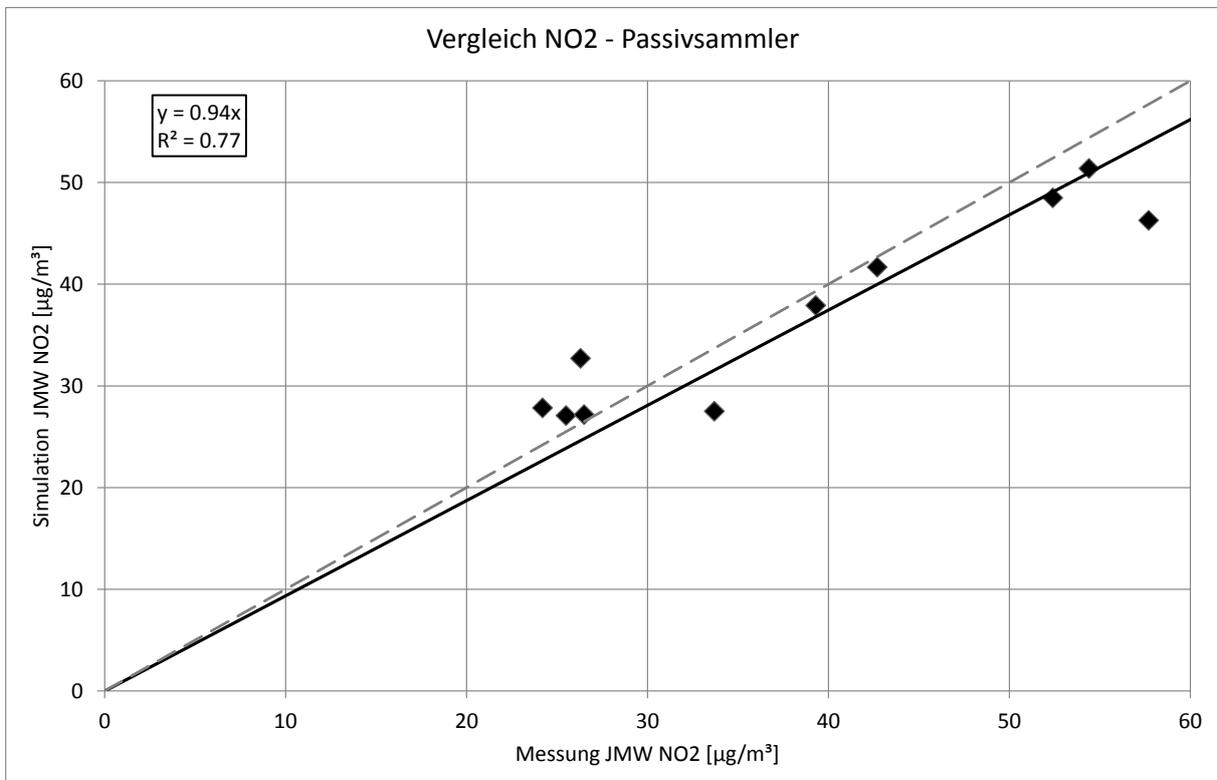


Abbildung 44: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO_2 -Jahresmittelwerten - Passivsammler - (2)

6.3.3 Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen

Die Ausbreitungsrechnungen können auch dazu verwendet werden, die Flächen auszuwerten, welche von Grenzwertüberschreitungen betroffen sind. Im Gebiet, das eine Gesamtfläche von 56 km² aufweist, wird der Wert von 30 µg/m³ auf einer Fläche von 13 km² überschritten. 35 µg/m³ werden auf einer Fläche von 6 km² überschritten. 40 µg/m³ werden auf einer Fläche von 3 km² überschritten.

Tabelle 9: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den JMW NO₂

JMW	km ²	Prozent
< 30 [µg/m ³]	44	78 %
30 -35 [µg/m ³]	7	12 %
35 -40 [µg/m ³]	3	5 %
> 40 [µg/m ³]	3	6 %

6.4 Maximaler Tagesmittelwert an NO_x

6.4.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den maximalen Tagesmittelwert an NO_x ist in Abbildung 40 dargestellt. Die höchsten Belastungen treten entlang der West-Autobahn auf. Flächendeckend wird ein Wert von rund 150 µg/m³ simuliert.

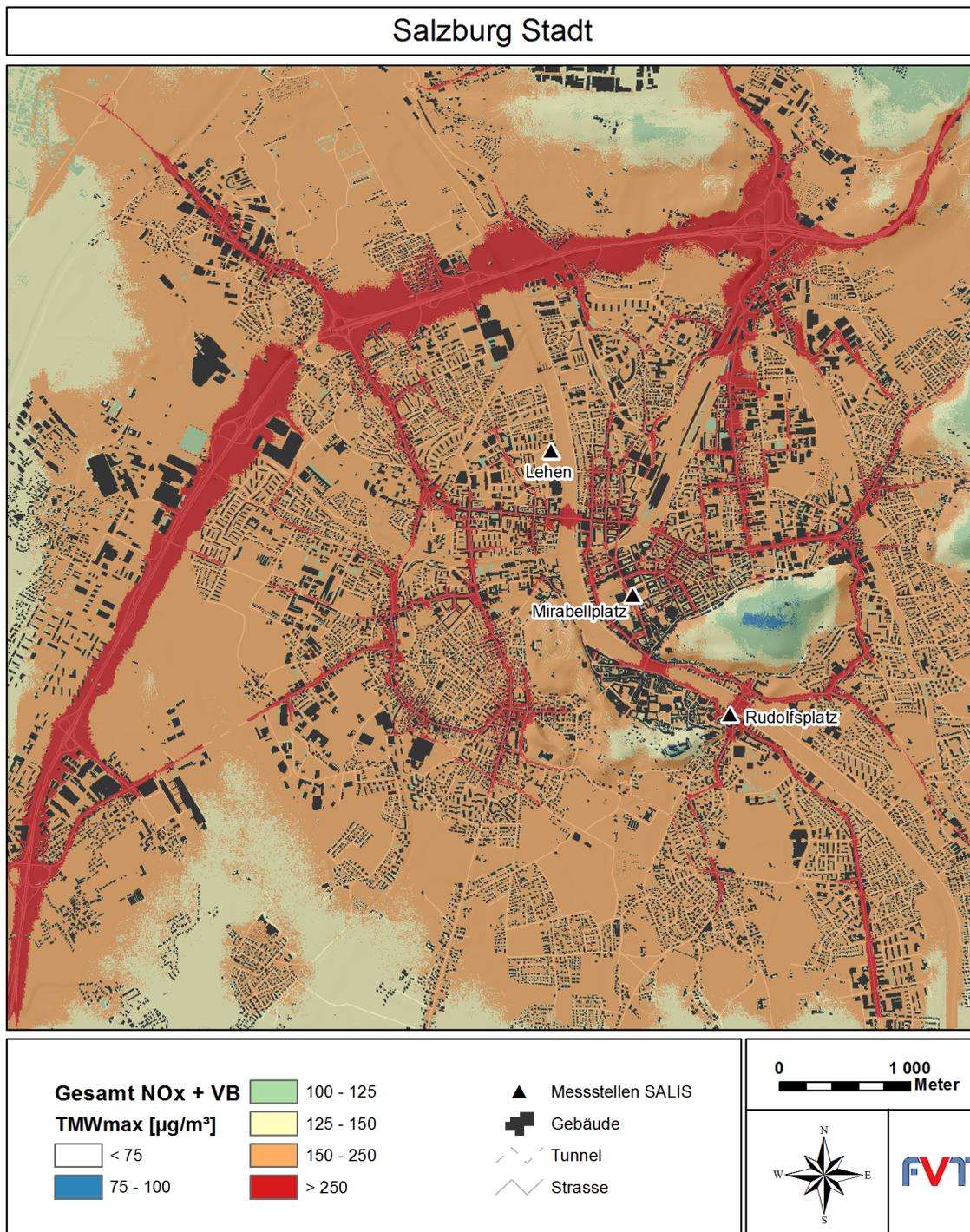


Abbildung 45: Modellierte NO_x-Konzentration für den maximalen Tagesmittelwert – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung

6.4.2 Vergleich mit Messdaten

Abbildung 46 zeigt den Vergleich zwischen den errechneten und den gemessenen Werten für den maximalen Tagesmittelwert an NO_x bei den kontinuierlichen Messstationen. Der Vergleich zeigt, dass es beim Mirabellplatz zu einer Überschätzung durch das Modell kommt.

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).

In Abbildung 47 wurden zudem die Immissionskonzentrationen weiterer 4 Stationen eingezeichnet. Diese Werte stammen aus dem Immissionskataster Salzburg Stadt bis Eugendorf [19] und dem Immissionskataster Salzburg Zentralraum [20].

Bei der Berechnung der Trendlinie in Abbildung 47 wurden die Messwerte, die außerhalb des Untersuchungsgebietes Salzburg Stadt liegen, mitberücksichtigt.

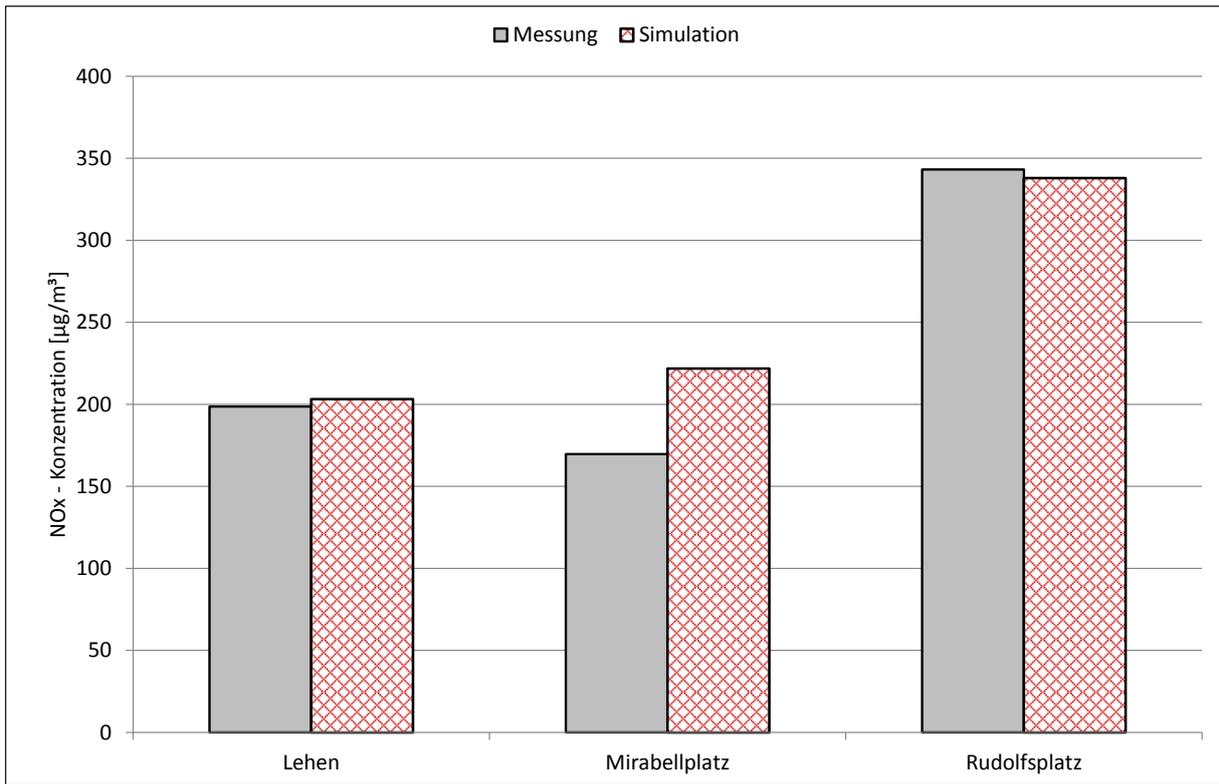


Abbildung 46: Vergleich zwischen gemessenem und modelliertem $\text{NO}_x\text{-TMW}_{\max}$ (inklusive Vorbelastung) –(1)

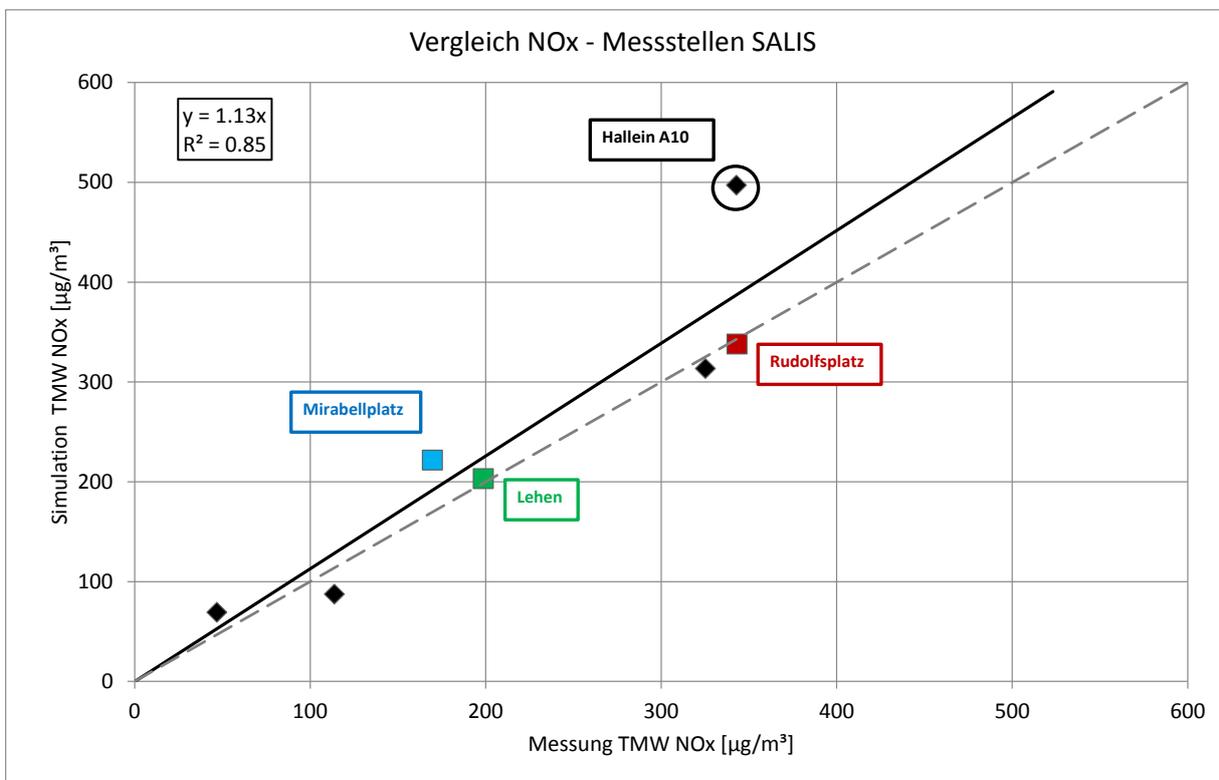


Abbildung 47: Vergleich zwischen gemessenem und modelliertem $\text{NO}_x\text{-TMW}_{\max}$ (inklusive Vorbelastung) – (2)

6.5 Maximaler Halbstundemittelwert an NO₂

Für die Berechnung des maximalen Halbstundenmittelwertes wurde die Methodik aus Kapitel 4.3.7 und die Umwandlungsfunktion für das 98. Perzentil nach Romberg aus Kapitel 4.3.6 verwendet.

6.5.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den maximalen Halbstundenmittelwert an NO₂ ist in Abbildung 48 dargestellt. Die höchsten Belastungen treten entlang der Autobahn auf und erreichen knapp 200 µg/m³. Entlang von Hauptverkehrsstraßen liegen die Belastungen über 150 µg/m³ und im gesamten Stadtgebiet von Salzburg über 125 µg/m³.

Addiert man die doppelte Standardabweichung aus Kapitel 4.3.7, 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.

Salzburg Stadt



Abbildung 48: Modellierte NO₂-Konzentration im maximalen Halbstundenmittel

6.5.2 Vergleich mit Messdaten

In Abbildung 49 und Abbildung 50 werden die berechneten maximalen NO₂-Konzentrationen mit den Messwerten der kontinuierlichen Luftgütemessstationen im Untersuchungsgebiet verglichen. Bei der Station Rudolfsplatz ergibt sich eine Unterschätzung des Modelles und bei den restlichen Stationen einen 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).

In Abbildung 50 wurden zudem die Immissionskonzentrationen weiterer 4 Stationen eingezeichnet. Diese Werte stammen aus dem Immissionskataster Salzburg Stadt bis Eugendorf [19] und dem Immissionskataster Salzburg Zentralraum [20].

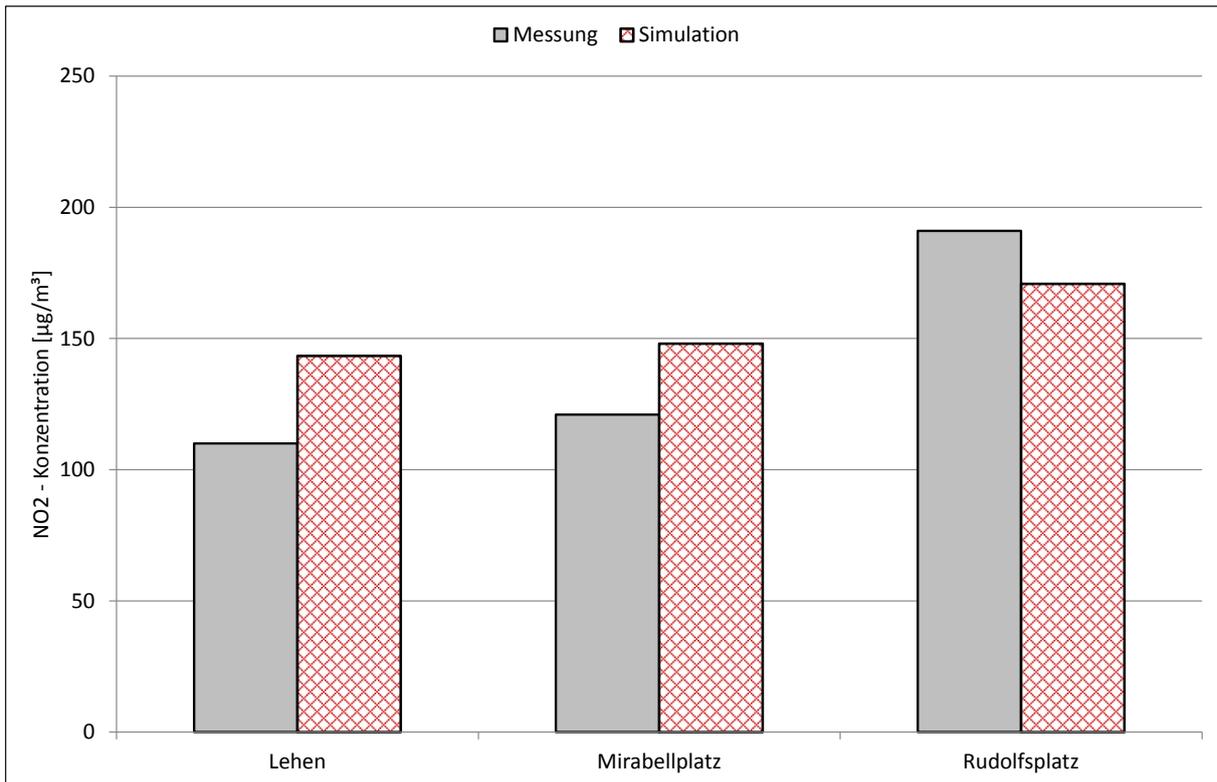


Abbildung 49: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten HMW_{max} NO₂ (inklusive Vorbelastung) -1

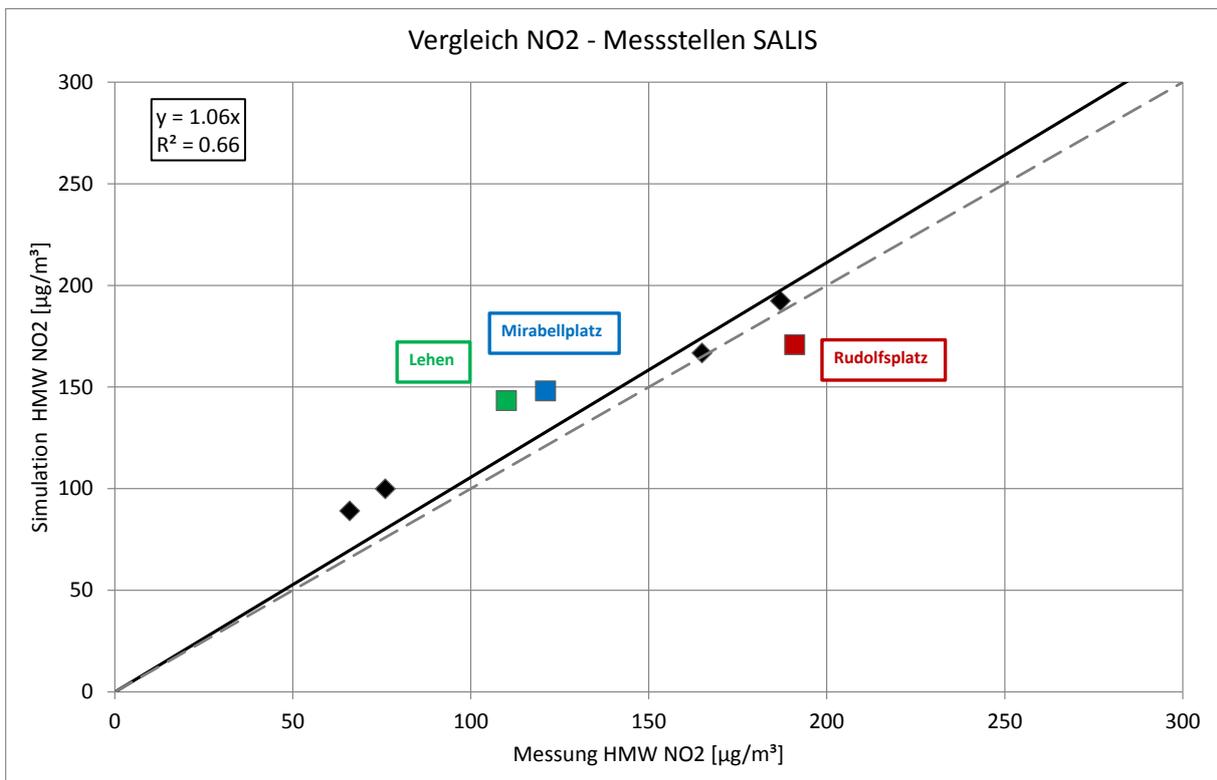


Abbildung 50: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten HMW_{max} NO₂ (inklusive Vorbelastung) -2

6.5.3 Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen

Die Ausbreitungsrechnungen können auch dazu verwendet werden, die Flächen auszuwerten, welche von Grenzwertüberschreitungen betroffen sind. Im Gebiet Zentralraum, das eine Gesamtfläche von 56.3 km² aufweist, kommt es nur in einer Fläche von 0.2 km² zu Überschreitungen des Grenzwertes von 200 µg/m³.

Tabelle 10: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den HMW_{max} NO₂

HMW _{max}	km ²	Prozent
< 200 [µg/m ³]	56.1	99.7 %
> 200 [µg/m ³]	0.2	0.3 %

Anzumerken ist hier jedoch die relativ große Prognoseunsicherheit bei der Bestimmung eines maximalen Halbstundenmittelwertes (Siehe Kapitel 4.3.7).

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.

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] Immissionsgrenzwerte und Immissionszielwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation (BGBl II Nr. 298/2001)
- [2] Immissionsschutzgesetz Luft Novelle (BGBl. I Nr. 77/2010), idF.: vom 18.08.2010
- [3] ÖNORM M 9440 (1992): Ausbreitung von luftverunreinigenden Stoffen in der Atmosphäre – Berechnung von Immissionskonzentrationen und Ermittlung von Schornsteinhöhen
- [4] RVS 09.02.33 (2005): Tunnel, Projektierungsrichtlinien, Lüftungsanlagen, Immissionsbelastungen an Portalen
- [5] RVS 04.02.12 (2007): Umweltschutz, Lärm und Luftschadstoffe; Schadstoffausbreitung an Straßen; FSV Wien 1. Mai 2002.
- [6] Romberg E., Bösing R., Lohmeyer A., Ruhnke R., Röth E. (1996): NO-NO₂-Umwandlung für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft*, **56**, p 215-218
- [7] Bächlin W., Bösing R., Brandt A., Schulz T. (2006): Überprüfung des NO-NO₂-Umwandlungsmodells für die Anwendung bei Immissionsprognosen für bodennahe Stickoxidfreisetzung, *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, 66, p 154-157
- [8] Bächlin W., Bösing R. (2008): Untersuchungen zu Stickstoffdioxid-Konzentrationen, Los 1 Überprüfung der Rombergformel. - Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe. Projekt 60976-04-01, Stand: Dezember 2008. Gutachten im Auftrag von: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen.
- [9] Amt der Steiermarkischen Landesregierung (2012): Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL (Graz Lagrangian Model) Vs. 13.3, Bericht Nr. LU-03-13
- [10] Bmwfj (2012): Technische Grundlage zur Qualitätssicherung in der Luftschadstoff-Ausbreitungsrechnung, Bundesministerium für Wirtschaft Familie und Jugend
- [11] Umweltbundesamt (2007): Leitfaden UVP und IG-L. Umgang mit Überschreitungen von Immissionsgrenzwerten von Luftschadstoffen in UVP-Verfahren. Überarbeitete Version 2007. BE-274
- [12] Luftgüte – Jahresbericht 2008, Land Salzburg, Abteilung 16, Umweltschutz Referat 16/02, Immissionsschutz, Juni 2009
- [13] Luftgüte – Jahresbericht 2009, Land Salzburg, Abteilung 16, Umweltschutz Referat 16/02, Immissionsschutz, Juni 2010
- [14] Luftgüte – Jahresbericht 2010, Land Salzburg, Abteilung 5, Umweltschutz Referat 5/02, Immissionsschutz, Juni 2011

- [15] Luftgüte – Jahresbericht 2011, Land Salzburg, Abteilung 5, Umweltschutz Referat 5/02, Immissionsschutz, Juni 2012

- [16] Luftgüte – Jahresbericht 2012, Land Salzburg, Abteilung 5, Umweltschutz Referat 5/02, Immissionsschutz, Juni 2013

- [17] Seinfeld et al. (1998) Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change

- [18] ZAMG (2011): Meteorologische Ausbreitungsverhältnisse der Winter 2004-2010 im Stadtbereich von Salzburg, 21.03.2011, Zahl 181-OI/2011

- [19] NO_x/NO₂-Immissionskataster Stadt Salzburg bis Eugendorf, Bericht Nr , 01.04.2014, FVT mbH

- [20] NO_x/NO₂-Immissionskataster Salzburg Zentralraum, Bericht Nr , 01.04.2014, FVT mbH

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modellierte NO ₂ -Konzentration im Jahresmittel	6
Abbildung 2: Untersuchungsraum für den Immissionskataster Salzburg Stadt....	8
Abbildung 3: Relativer Tagesgang der Emissionsquellen	12
Abbildung 4: Relativer Jahresgang der Emissionsquellen	12
Abbildung 5: Empirischer Zusammenhang zwischen 98 Perzentil NO ₂ und dem maximalen Halbstundenmittelwert von NO ₂ (Quelle: [11])	17
Abbildung 6: Übersicht meteorologische Messstellen.....	19
Abbildung 7: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Flughafen.....	20
Abbildung 8: Mittlere Windrichtungsverteilung [‰] am Standort Salzburg Flughafen.....	20
Abbildung 9: Mittlere Windrichtungsverteilung nach Windgeschwindigkeitsklassen [%] am Standort Salzburg Flughafen.....	21
Abbildung 10: Mittlere Häufigkeit der beiden Hauptwindrichtungen am Standort Salzburg Flughafen.....	21
Abbildung 11: Vergleich der Umwandlungsfunktionen für den JMW NO ₂ mit Messwerten	24
Abbildung 12: Vergleich der Umwandlungsfunktionen für das 98-Perzentil an NO ₂ mit Messwerten	24
Abbildung 13: Vergleich der Umwandlungsfunktionen für den HMW NO ₂ mit Messwerten	25
Abbildung 14: Abhängigkeit der NO _x -Vorbelastung für den JMW von der Seehöhe	26

Abbildung 15: Abhängigkeit der NO _x -Vorbelastung für den TMW _{max} von der Seehöhe	27
Abbildung 16: Anteil der Quellgruppen an den NO _x -Emissionen im Untersuchungsgebiet	29
Abbildung 17: Anteil der Quellkategorien an den NO _x -Emissionen im gesamten Untersuchungsgebiet	29
Abbildung 18: NO _x -Punktquellen im Untersuchungsgebiet	31
Abbildung 19: NO _x -Linienquellen Im Untersuchungsgebiet.....	32
Abbildung 20: NO _x -Flächenquellen im Untersuchungsgebiet.....	33
Abbildung 21: Windrose Flughafen Salzburg, Vergleich Messung gegen Simulation.....	35
Abbildung 22: Windgeschwindigkeitsklassen Flughafen Salzburg, Vergleich Messung gegen Simulation	35
Abbildung 23: Windrose Kapuzinerberg, Vergleich Messung gegen Simulation..	36
Abbildung 24: Windgeschwindigkeitsklassen Kapuzinerberg, Vergleich Messung gegen Simulation	36
Abbildung 25: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Punktquellen (Gewerbe, Industrie, Heizkraftwerke, Heizwerke).....	38
Abbildung 26: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - Flächenverkehr	39
Abbildung 27: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - Kleinverbraucher	40
Abbildung 28: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Off-Road (Baumaschinen, Traktoren, ...).....	41
Abbildung 29: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – PKW, Innerorts und Außerorts.....	42

Abbildung 30: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - LKW, Innerorts und Außerorts.....	43
Abbildung 31: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - PKW, Autobahn	44
Abbildung 32: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - LKW, Autobahn	45
Abbildung 33: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung	46
Abbildung 34: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO _x - Jahresmittelwerten (inklusive Vorbelastung) – (1).....	48
Abbildung 35: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO _x - Jahresmittelwerten (inklusive Vorbelastung) – (2).....	48
Abbildung 36: Modellierte Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen - JMW NO _x	49
Abbildung 37: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Rudolfsplatz.....	50
Abbildung 38: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Mirabellplatz	50
Abbildung 39: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Lehen	51
Abbildung 40: Modellierte NO ₂ -Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung	53
Abbildung 41: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO ₂ - Jahresmittelwerten – (1).....	55
Abbildung 42: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO ₂ - Jahresmittelwerten – (2).....	55
Abbildung 43: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO ₂ - Jahresmittelwerten - Passivsammler - (1)	56

Abbildung 44: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO ₂ - Jahresmittelwerten - Passivsammler - (2)	56
Abbildung 45: Modellierte NO _x -Konzentration für den maximalen Tagesmittelwert – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung	58
Abbildung 46: Vergleich zwischen gemessenem und modelliertem NO _x -TMW _{max} (inklusive Vorbelastung) –(1)	60
Abbildung 47: Vergleich zwischen gemessenem und modelliertem NO _x -TMW _{max} (inklusive Vorbelastung) – (2)	60
Abbildung 48: Modellierte NO ₂ -Konzentration im maximalen Halbstundenmittel	62
Abbildung 49: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten HMW _{max} NO ₂ (inklusive Vorbelastung) -1	64
Abbildung 50: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten HMW _{max} NO ₂ (inklusive Vorbelastung) -2	64

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Freisetzungshöhen der Flächenquellen	11
Tabelle 2: Immissionsgrenzwerte nach IG-L [2] alle Werte in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	13
Tabelle 3: Grenzwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation (BGBL. II 298/2001) in [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] [1].	13
Tabelle 4: Definition der Quellgruppen	14
Tabelle 5: Parameter der Regressionskurven für den NO_2 -Umwandlungsgrad nach Romberg et al. [6], Bächlin et al. 2006 [7] und Bächlin et al. (2008) [8]... 16	
Tabelle 6: Gemessene NO_2 - und NO_x -Konzentrationen in Salzburg	23
Tabelle 7: Ergebnisse der Passivsammlermessungen für das Jahr 2010	26
Tabelle 8: NO_x -Emissionen im gesamten Untersuchungsgebiet.....	28
Tabelle 9: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den JMW NO_2	57
Tabelle 10: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den $\text{HMW}_{\text{max}} \text{NO}_2$	65
Tabelle 11: Parameter für die Strömungssimulationen	75
Tabelle 12: Parameter für die Ausbreitungsrechnungen.....	75

11 Anhang

11.1 Parameter für die Ausbreitungsmodellierung

Gemäß Technische Grundlage Qualitätssicherung [10] werden die Parameter für die Ausbreitungsmodellierung in folgenden Tabellen dokumentiert.

Tabelle 11: Parameter für die Strömungssimulationen

Parameter Strömungssimulation	
Modell	GRAMM
Version (YY_MM)	12_06
Topographiedaten	Digitales Geländemodell (Aster)
Auflösung	30 m
Größe Modellgebiet	6x7 km
Horizontales Gitter	250 m
Höhe unterste Zelle	10 m
Stretchingfaktor	1.4
Initialisiert mit Messstation	Salzburg Flughafen
Koordinaten	425745 / 294592
Projektion	MGI Austria GK M31
Seehöhe	347 m – 2904 m
Auswertezeitraum	01. Juni 2008 bis 31. Mai 2009
Zeitliche Auflösung	HMW
Windmesser	-
Höhe über Grund	10 m
Methodik Ausbreitungsklassen	ÖNORM M 9440
Rauhigkeitslänge	Corinne-Daten

Tabelle 12: Parameter für die Ausbreitungsrechnungen

Parameter Ausbreitungsmodell	
Modell	GRAL
Version (YY_MM)	13_16
Größe Modellgebiet	6x7 km
Horizontales Gitter	5 m
Vertikales Gitter	2 m
Auswerteebene	3 m
Rauhigkeitslänge	0.5 m
Gebäudeeinfluss	ja