

NOx / NO₂-Immissionskataster

Radstadt, Salzburg

Auftraggeber

Salzburger Landesregierung

Bericht Nr. FVT-
127/15/UUh/CKu V&U
11/30/6300

Version
1.0

Datum
10.12.2015

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 Verfasser einzuholen.

Versionen

Version	Datum	Bearbeiter	Änderung
1.0	10.12.2015	Karner/Kurz/Uhrner	Erstellung Bericht

NOx / NO2-Immissionskataster

Radstadt, Salzburg

Freigegeben: Ao.Univ.-Prof. Dr. Peter Sturm 10.12.2015

Erstellt: Mag. Michael Karner / Dr. Christian Kurz / Dr. Ulrich Uhrner 10.12.2015

Inhalt

1	Zusammenfassung.....	5
2	Aufgabenstellung.....	7
3	Untersuchungsraum und -zeit.....	7
4	Untersuchungsmethodik.....	9
4.1	Methodik Emissionen	9
4.1.1	Punktquellen	9
4.1.2	Linienquellen.....	9
4.1.3	Flächenquellen.....	10
4.1.4	Ganglinien der Emissionen.....	11
4.2	Methodik Immissionen.....	13
4.2.1	Grenzwerte	13
4.2.2	Berechnung der Immissionsbeiträge	14
4.2.3	Eingangsparameter	14
4.2.4	Berechnung der Gesamtbelastungen	15
4.2.5	Zeitliche und räumliche Auflösung.....	15
4.2.6	NO-NO ₂ -Umwandlung	15
4.2.7	Berechnung des maximalen Halbstundemittelwertes von NO ₂	16
5	Beschreibung der Eingangsdaten.....	18
5.1	Meteorologie	18
5.1.1	Standort Altenmarkt.....	18
5.1.2	Standort Radstadt	21
5.2	Luftgüte.....	23
5.2.1	Messdaten - Passivsammler	23

5.2.2	Vertikale Abhängigkeit der Vorbelastung.....	25
5.3	Emissionen	25
6	Simulationen	31
6.1	Strömungsmodellierung	31
6.2	Jahresmittelwert Stickstoffoxide (NO _x)	34
6.2.1	Simulationsergebnisse	34
6.2.2	Quellgruppenanteile	45
6.3	Jahresmittelwert Stickstoffdioxid (NO ₂).....	48
6.3.1	Simulationsergebnisse	48
6.3.2	Vergleich mit Messdaten	50
6.3.3	Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen	54
6.4	Maximaler Tagesmittelwert an NO _x	55
6.4.1	Simulationsergebnisse	55
6.5	Maximaler Halbstundemittelwert an NO ₂	56
6.5.1	Simulationsergebnisse	56
6.5.2	Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen	58
7	Unsicherheiten bei der Modellierung	59
8	Literaturverzeichnis	61
9	Abbildungsverzeichnis.....	62
10	Tabellenverzeichnis	65
11	Anhang.....	66

1 Zusammenfassung

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

Der Untersuchungsraum beinhaltet die Städte Radstadt, Altenmarkt im Pongau, Flachau, und Wagrain. Die nördlich Grenze stellt Filzmoos und die südliche Grenze Untertauern dar. Die Windfeldmodellierung und die Ausbreitungsrechnungen wurden für ein Gebiet mit circa 20 km x 17 km Seitenlänge durchgeführt.

Für die Initialisierung der Windfeldmodellierung wurde eine synthetische Zeitreihe verwendet. Die Ergebnisse der synthetischen Windfeldmodellierung wurde anschließend mit der meteorologischen Zeitreihe der Station Salzburg Altenmarkt im Pongau für den Bezugszeitraum Juli 2012 bis Juni 2013 abgeglichen. 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 10 verschiedene Quellgruppen die Konzentrationsfelder berechnet. Zur Berechnung der NO₂-Konzentrationen wurde die Umwandlungsfunktion laut [1] verwendet.

Die Emissionsdaten wurden vom Amt der Salzburger Landesregierung bereitgestellt. Im Modellgebiet stellt der Verkehr die dominierende NO_x Quelle dar.

Für den Jahresmittelwert an NO₂ ergibt die Simulation eine Unterschätzung bei allen Stationen im Untersuchungsgebiet. Um eine gute Übereinstimmung der Simulationswerte mit den Messungen zu erreichen, wurden die modellierten Zusatzbelastungen mit den Faktor 2 multipliziert.

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 Hauptverkehrsstraßen überschritten.

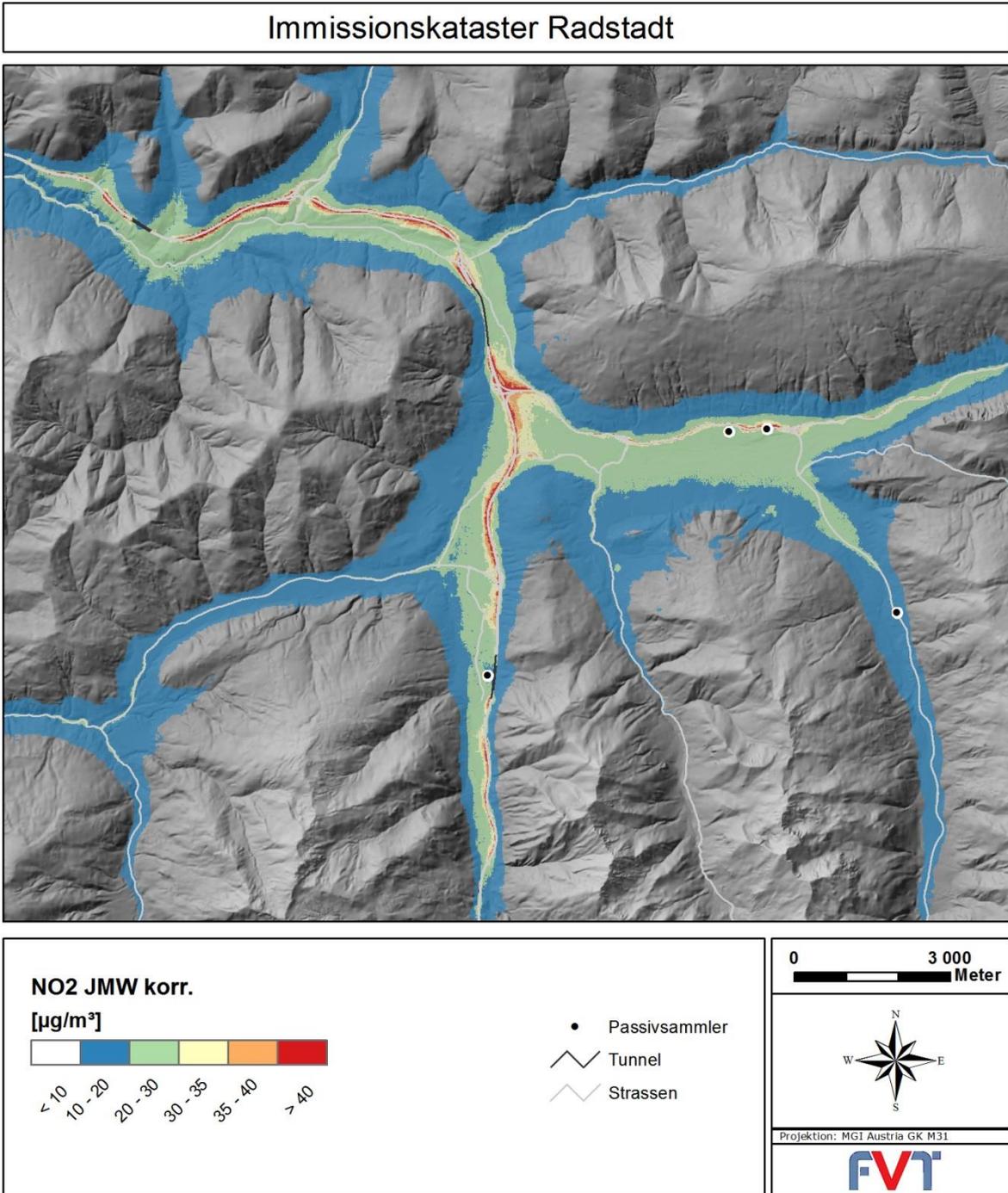


Abbildung 1: Modellierte NO₂-Konzentration im Jahresmittel

2 Aufgabenstellung

Inhalt dieser Studie ist die Erstellung eines Immissionskatasters für das Modellgebiet Radstadt. 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. Auf Basis dieser Messdaten wird das Windfeldmodell 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 [1] ermittelt. Die Simulationen werden mit einer zeitlichen Auflösung von 30 Minuten durchgeführt. Für das Gebiet beträgt die räumliche Auflösung 10 m x 10 m.

3 Untersuchungsraum und -zeit

Der Untersuchungsraum umfasst das Gebiet um Radstadt. Die Windfeldmodellierung und die Ausbreitungsrechnungen wurden für ein Gebiet mit 20 km x 17 km Seitenlänge durchgeführt (siehe Abbildung 2)

Für die Windfeldmodellierung wurden meteorologische Eingangsdaten der Station Salzburg Altenmarkt im Pongau für den Bezugszeitraum Juli 2012 bis Juni 2013 verwendet. Die Daten des Emissionskatasters Salzburg beziehen sich auf das Referenzjahr 2010.

Immissionskataster Radstadt



Abbildung 2: Berechnungsgebiet für die Schadstoffausbreitung

4 Untersuchungsmethodik

4.1 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 umfasst das Gebiet um Radstadt (20 km x 17 km). 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, Off-Road, Flächenverkehr und Pistenwalzen

Die Daten der Emissionsquellen wurden von der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt. Eine Übersicht der Emissionsdaten befindet sich in Kapitel 5.3.

4.1.1 Punktquellen

Für das Gebiet wurden 9 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 9 Kamine wurden in zwei Quellgruppen zusammengefasst.

Quellgruppe 1: Industrie

Bioenergie Wagrain GmbH, Biomasse Zauchensee GesmbH & Co KG, Biomasse-Heizanlage Radstadt, Holzwärme Flachau GmbH, Holzwärme Salzach-Pongau reg. Gen.m.b.H., SWH-Strom und Wärme aus Holz Filzmoos

Quellgruppe 2: Heizwerke

Holzwärme Altenmarkt GmbH, Jägerzaun GesmbH, Kirchner Säge und Hobelwerk GmbH

4.1.2 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 3: PKW, IO+AO

Emissionen von PKWs, Außerorts und Innerorts.

Quellgruppe 4: LKW, IO+AO

Emissionen von LKWs, Außerorts und Innerorts.

Quellgruppe 5: PKW, AB

Emissionen von PKWs, Autobahn.

Quellgruppe 6: 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.

4.1.3 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 7 – Kleinverbraucher:

kleine stationäre Flächenquellen

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

Quellgruppe 8 – Traktoren

Emissionen aufgrund Traktoren

Auflösung: 100 m x 100 m und 200 m x 200 m

Quellgruppe 9 – Pistenwalzen:

Emissionen aufgrund von Pistenwalzenbetrieb

Auflösung: 50 m x 50 m

Quellgruppe 10 – Flächenverkehr:

Verkehrsemissionen, welche nicht den Linienquellen zugeordnet wurden

Auflösung: 100 m x 100 m

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		Quellhöhe [m]	z [m]	dz [m]
7	Kleinverbraucher	mittlere Höhe 10 m	10	2
8	Traktoren	mittlere Höhe 2 oder 4 m	2 oder 4	1
9	Pistenwalzen	mittlere Höhe 4 m	4	1
10	Flächenverkehr	mittlere Höhe 2 m	1	2

4.1.4 Ganglinien der Emissionen

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

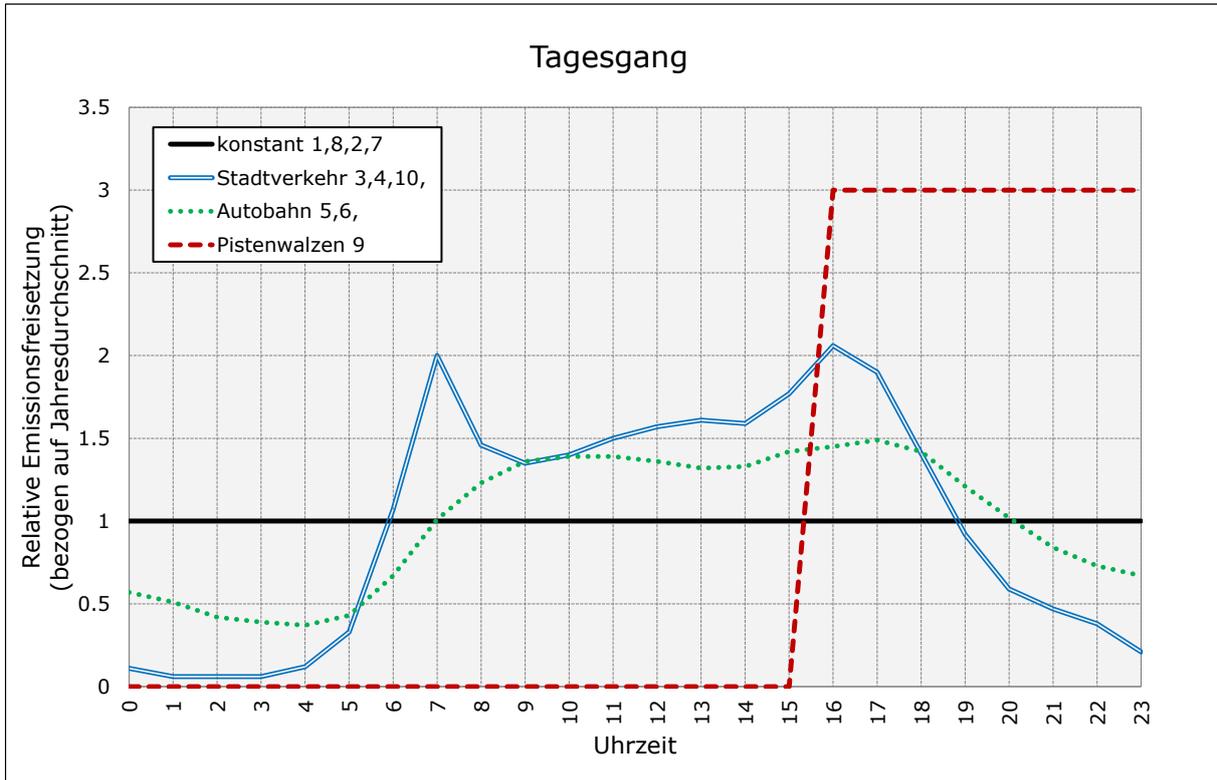


Abbildung 3: Relativer Tagesgang der Emissionsquellen

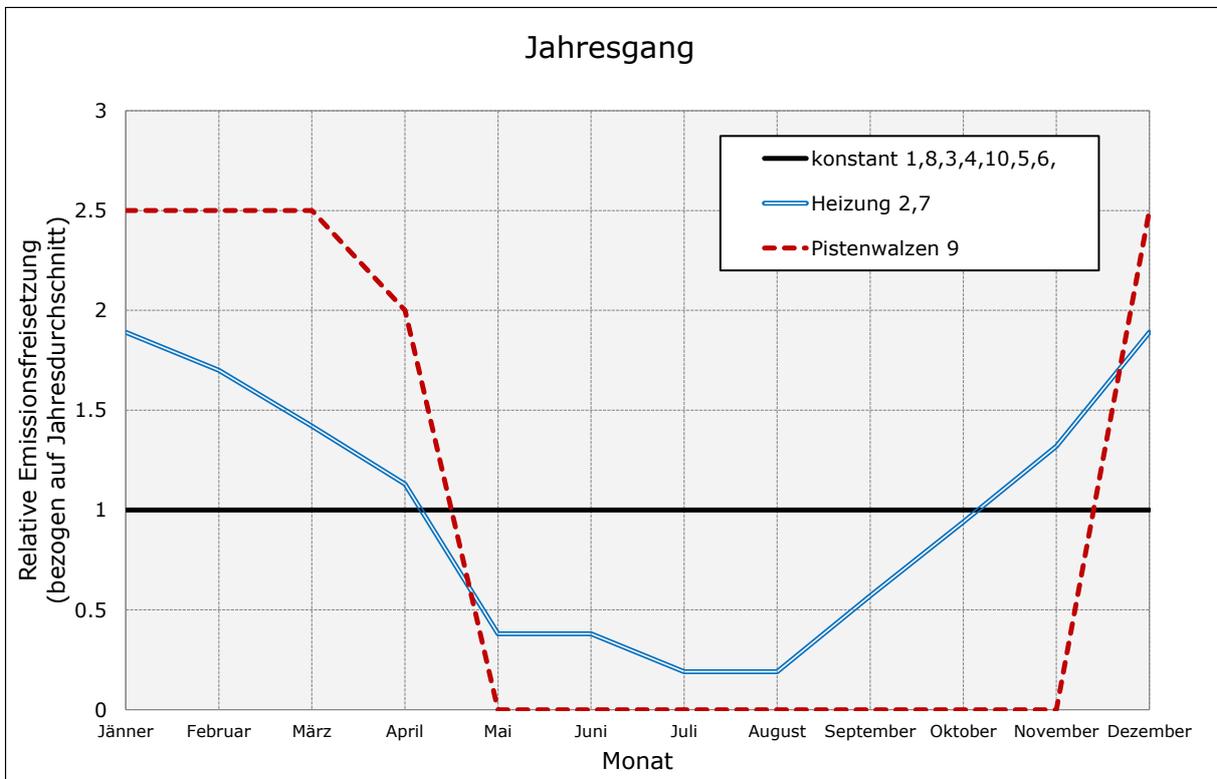


Abbildung 4: Relativer Jahresgang der Emissionsquellen

4.2 Methodik Immissionen

4.2.1 Grenzwerte

Als Immissionsgrenzwert der Konzentration zum dauerhaften Schutz der menschlichen Gesundheit in ganz Österreich gelten gemäß IG-L [2] die Werte in nachfolgender Tabelle:

Tabelle 2: Immissionsgrenzwerte nach IG-L 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
$\text{PM}_{2,5}$				25 ⁴⁾

¹⁾Seit 01.01. 2010 beträgt die Toleranzmarge $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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.

²⁾Darf seit 01.01.2010 nur mehr 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 seit 01.01.2015.

Tabelle 3: Grenzwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation [3] in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Luftschadstoff	Winter	TMW	Jahresmittelwert
Schwefeldioxid	20	50	20
Stickstoffoxide (als NO_2)		80	30

4.2.2 Berechnung der Immissionsbeiträge

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 können auf der Website des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung heruntergeladen werden [4]. Die verwendeten Eingangsparameter für die vorliegenden Berechnungen werden im Anhang (Kapitel 11) dokumentiert.

4.2.3 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

Art	Quelle	Quellgruppe
Punktquellen	Gewerbe & Industrie	1
	Heizwerke	2
Linienquelle	PKW IO und AO	3
	LKW IO und AO	4
	PKW AB	5
	LKW AB	6
Flächenquellen	Kleinverbraucher	7
	Traktoren	8
	Pistenwalzen	9
	Flächenverkehr	10

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

Punktquellen 500 Partikel/Sekunde
 Flächenquellen 1500 Partikel/Sekunde
 Linienquellen 1000 Partikel/Sekunde

Insgesamt ergibt das für alle Emissionen im gesamten Berechnungsgebiet eine Partikelanzahl von 5.4 Millionen pro 30 Minuten.

4.2.4 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 aus einem Vergleich der gemessenen Gesamtbelastungen und der modellierten Zusatzbelastungen für den Istzustand ermittelt.

4.2.5 Zeitliche und räumliche Auflösung

Das gesamte Rechengebiet besitzt eine Größe von 20 km x 17 km. Die horizontale Auflösung der Konzentrationsfelder beträgt 10 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 840 klassifizierte Wetterlagen. Auf Basis dieser Strömungsfelder 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.

4.2.6 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 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 [5]). 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.

Für Österreich wurden die Parameter A, B und C aus Messdaten der Jahre 2005-2011 in [1] abgeleitet. Zu beachten ist, dass die Umwandlungsrate regional unterschiedlich sein kann. Da jedoch keine Messdaten für den Jahresmittelwert NO_x und NO₂ vorliegen, kann keine Überprüfung der Konversionsfunktionen im Untersuchungsraum durchgeführt werden.

Tabelle 5: 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

4.2.7 Berechnung des maximalen Halbstundemittelwertes 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 [1].

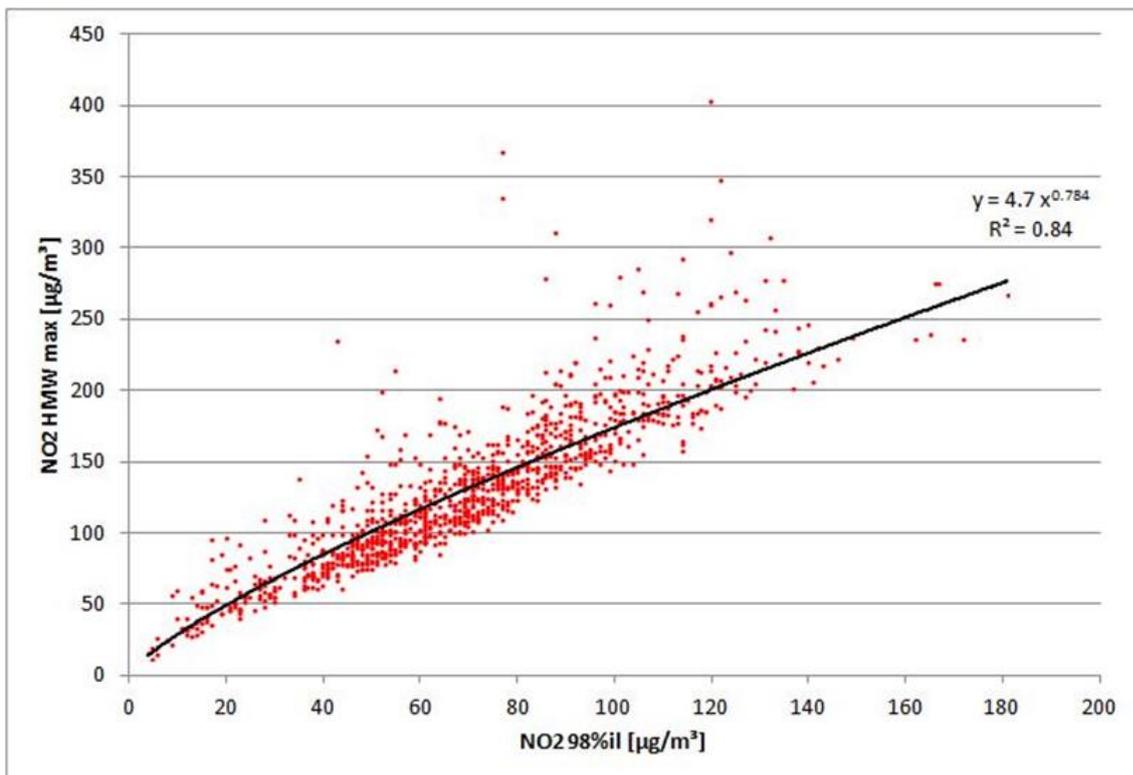


Abbildung 5: Empirischer Zusammenhang zwischen 98 Perzentil NO₂ und dem maximalen Halbstundenmittelwert von NO₂ [1]

5 Beschreibung der Eingangsdaten

Als Grundlagen für die Modellierung des NO_x/NO_2 -Immissionskatasters wurden folgende Daten verwendet:

- Digitales Geländemodell von Salzburg
- Meteorologische Daten der ZAMG Salzburg
- Emissionskataster Salzburg
- Luftgütemessungen vom Amt der Salzburger Landesregierung

5.1 Meteorologie

Für die Ausbreitungsmodellierungen wird zumindest eine Zeitreihe der meteorologischen Parameter Windgeschwindigkeit, -richtung und Ausbreitungsklasse gemäß ÖNORM M 9440 benötigt. Die Messung sollte das übergeordnete Windsystem möglichst gut erfassen und repräsentativ für das Untersuchungsgebiet sein. In dieser Untersuchung wurden zunächst mit einer synthetischen Zeitreihe, die sämtliche klassifizierte Windgeschwindigkeiten, Windrichtungen und Ausbreitungsklassen beinhaltet, Strömungsfelder berechnet. Danach wurden diese berechneten Strömungsfelder an die Stationen Altenmarkt-Therme und Radtstadt angepasst (vergleiche hierzu Match-to-Observation Funktion [6]). Diese beiden Stationen wurden daher ausgesucht (Abbildung 2), da diese das übergeordnete Strömungsfeld im Raum Radstadt am besten wiedergeben. Die meteorologischen Eingangsdaten wurden vom Amt der Salzburger Landesregierung zur Verfügung gestellt und von der ZAMG Salzburg geprüft. Der Messzeitraum erstreckt sich für beide Messstationen von 01.07.2012 bis 30.06.2013.

5.1.1 Standort Altenmarkt

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ist in Abbildung 6 dargestellt. Windschwache Wetterlagen unter 0.5 m/s kommen in knapp 18 % des Jahres vor. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit betrug 1.6 m/s.

Betrachtet man die mittlere Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen, so sind drei Hauptwindrichtungen erkennbar (Abbildung 7). Hauptsächlich treten Windrichtungen aus Westen, Nordwesten und Südosten auf.

Der mittlere Tagesgang der Windrichtungen ist in Abbildung 8 dargestellt. Tagsüber zwischen 9:00 h und 18:00 h treten meistens Windrichtungen aus Nordwesten auf. Nachts sind hingegen westliche Windrichtungen häufiger. Diese stehen mit schlechteren Ausbreitungsbedingungen in Verbindung, da die thermische Schichtung der Atmosphäre stabiler ist.

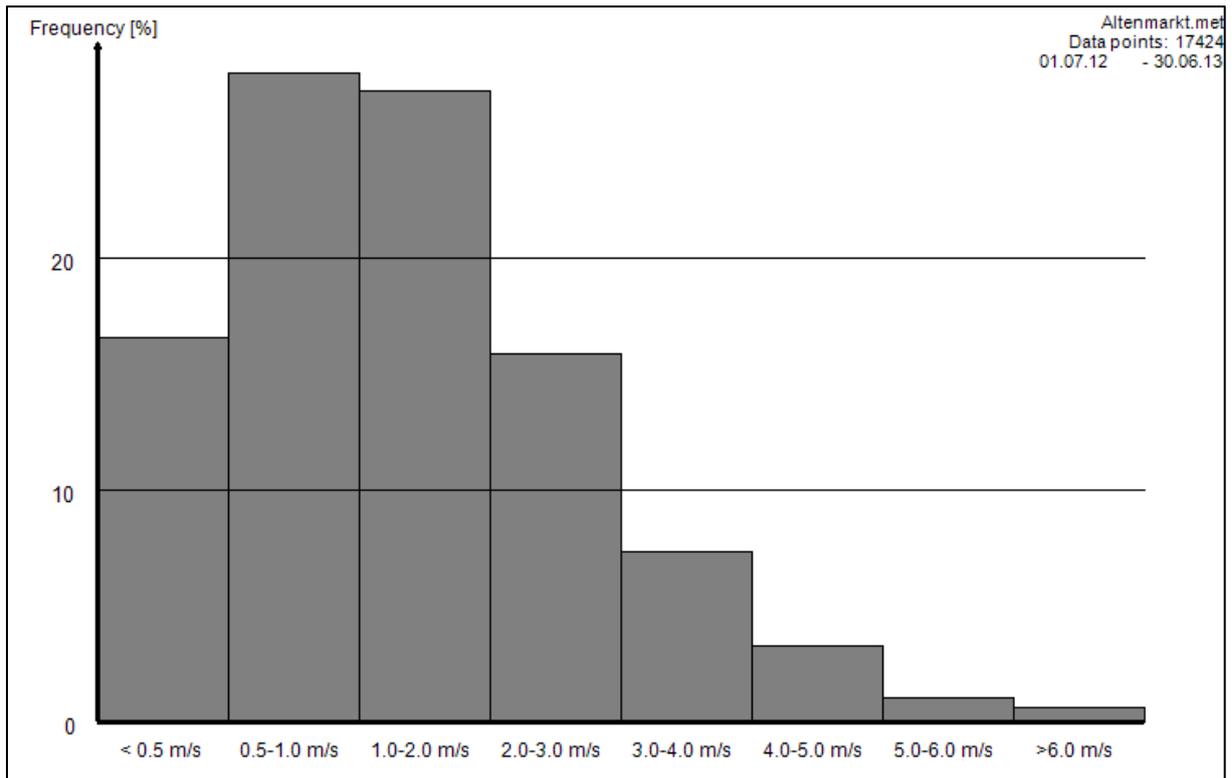


Abbildung 6: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Altenmarkt

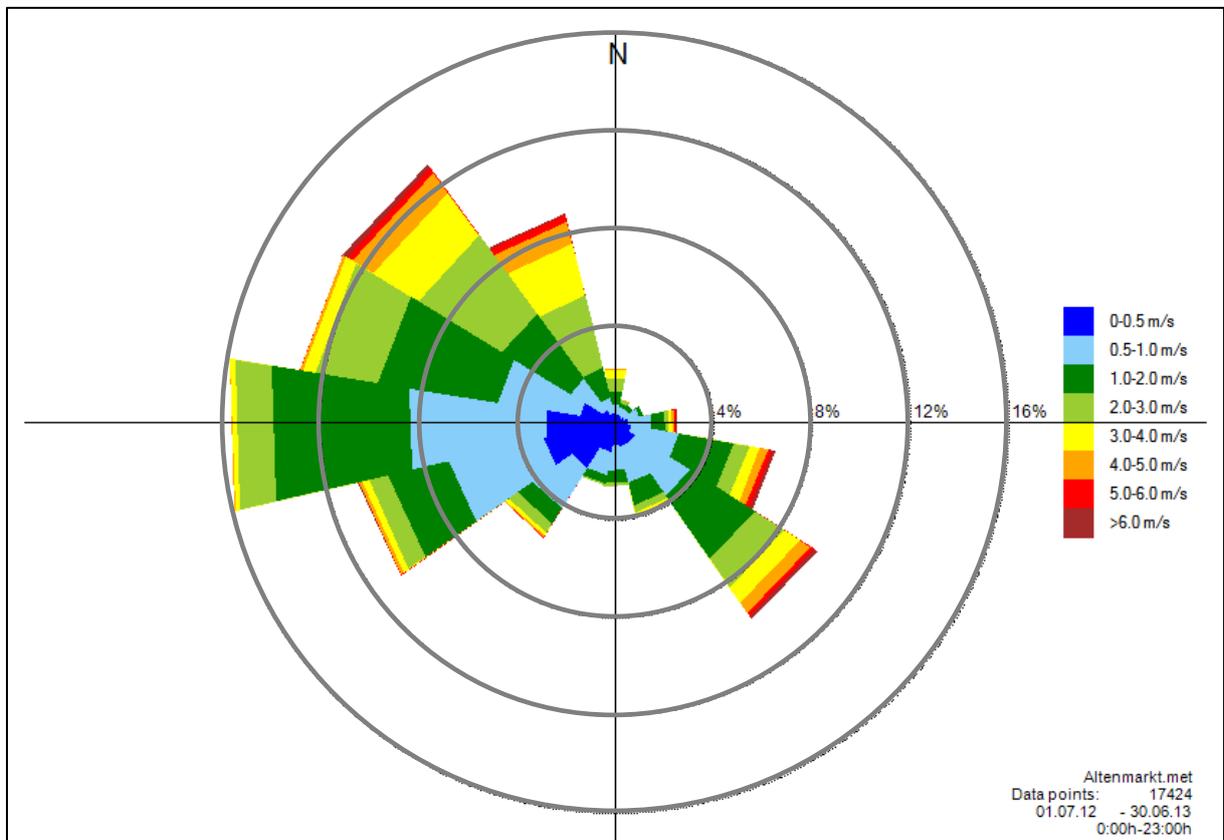


Abbildung 7: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Windgeschwindigkeitsklassen am Standort Salzburg Altenmarkt

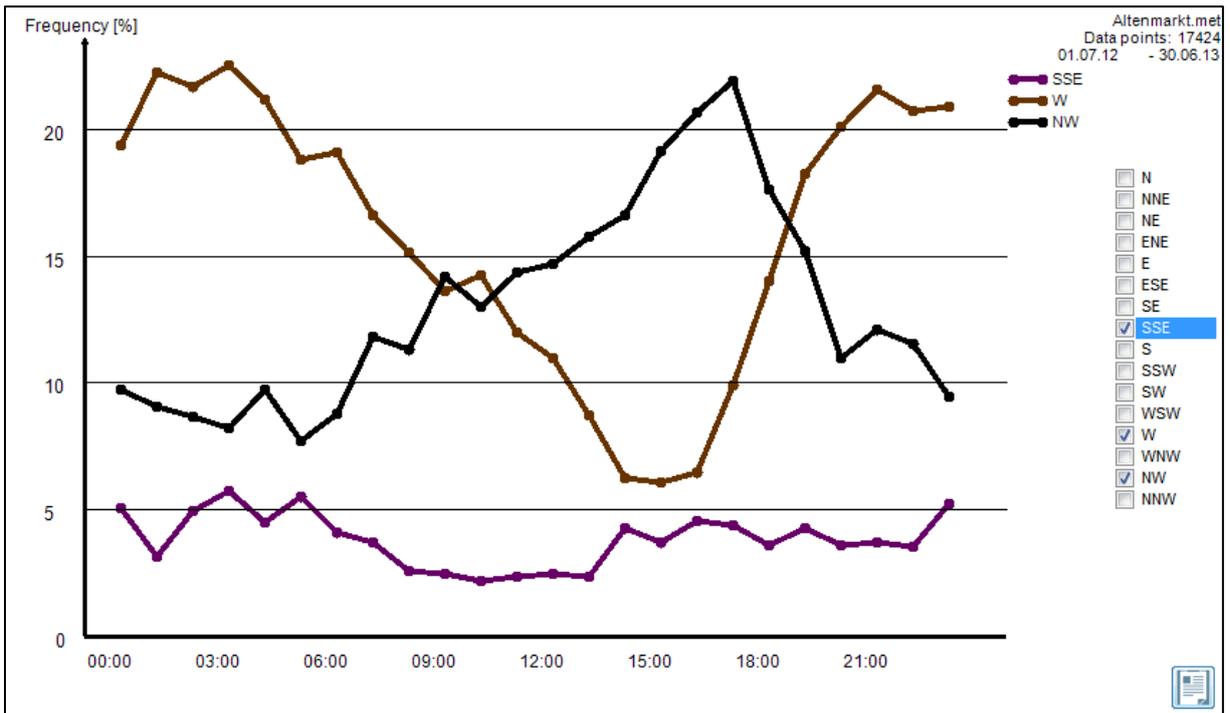


Abbildung 8: Mittlere Häufigkeit der Hauptwindrichtungen am Standort Salzburg Altenmarkt

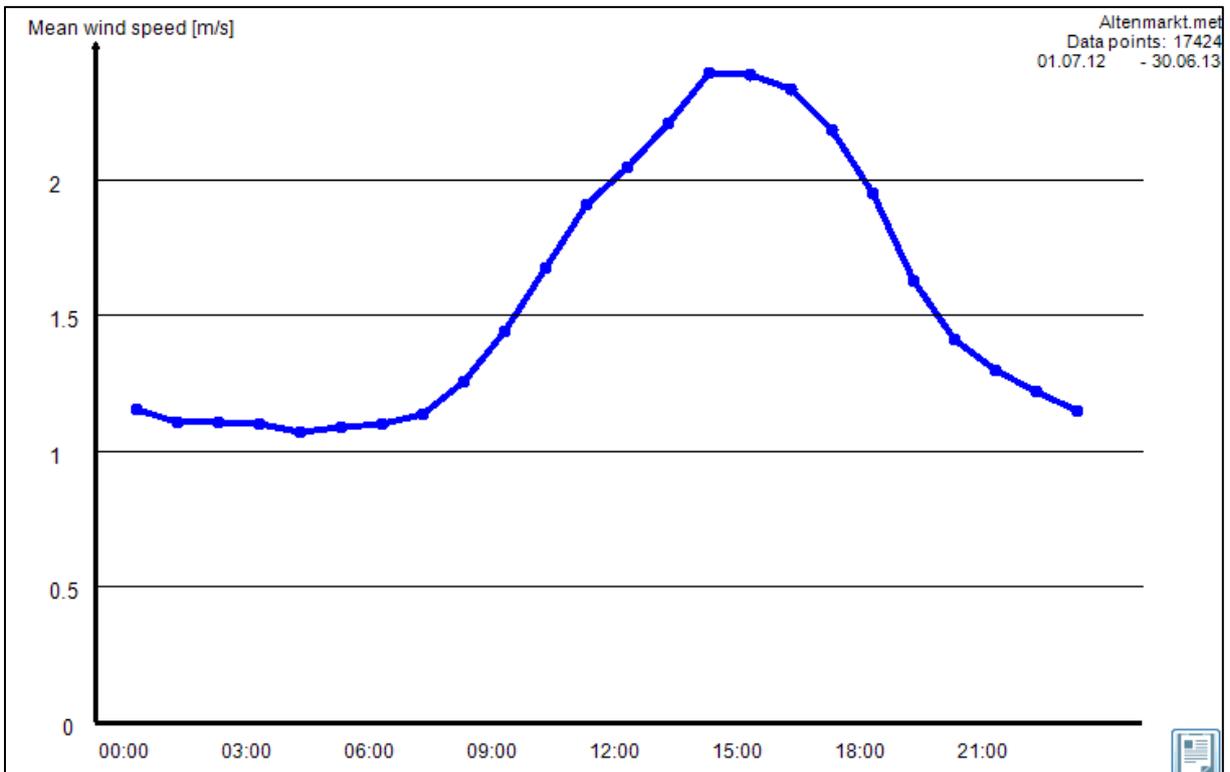


Abbildung 9: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Altenmarkt

5.1.2 Standort Radstadt

Die Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsklassen ist in Abbildung 10 dargestellt. Windschwache Wetterlagen unter 0.5 m/s kommen in knapp unter 25 % des Jahres vor. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit betrug 1.2 m/s.

Betrachtet man die mittlere Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen, so sind zwei Hauptwindrichtungen erkennbar (Abbildung 11). Hauptsächlich treten Windrichtungen aus WSW und Osten auf.

Der mittlere Tagesgang der Windrichtungen ist in Abbildung 12 dargestellt. Die WSW-Winde weisen keinen Tagesgang auf. Die Winde aus Osten haben ihr Maximum am späten Nachmittag. Tagsüber zwischen 9:00 h und 18:00 h treten meistens Windrichtungen aus SSW auf. Nachts sind hingegen westliche Windrichtungen häufiger. Diese stehen mit schlechteren Ausbreitungsbedingungen in Verbindung, da die thermische Schichtung der Atmosphäre stabiler ist.

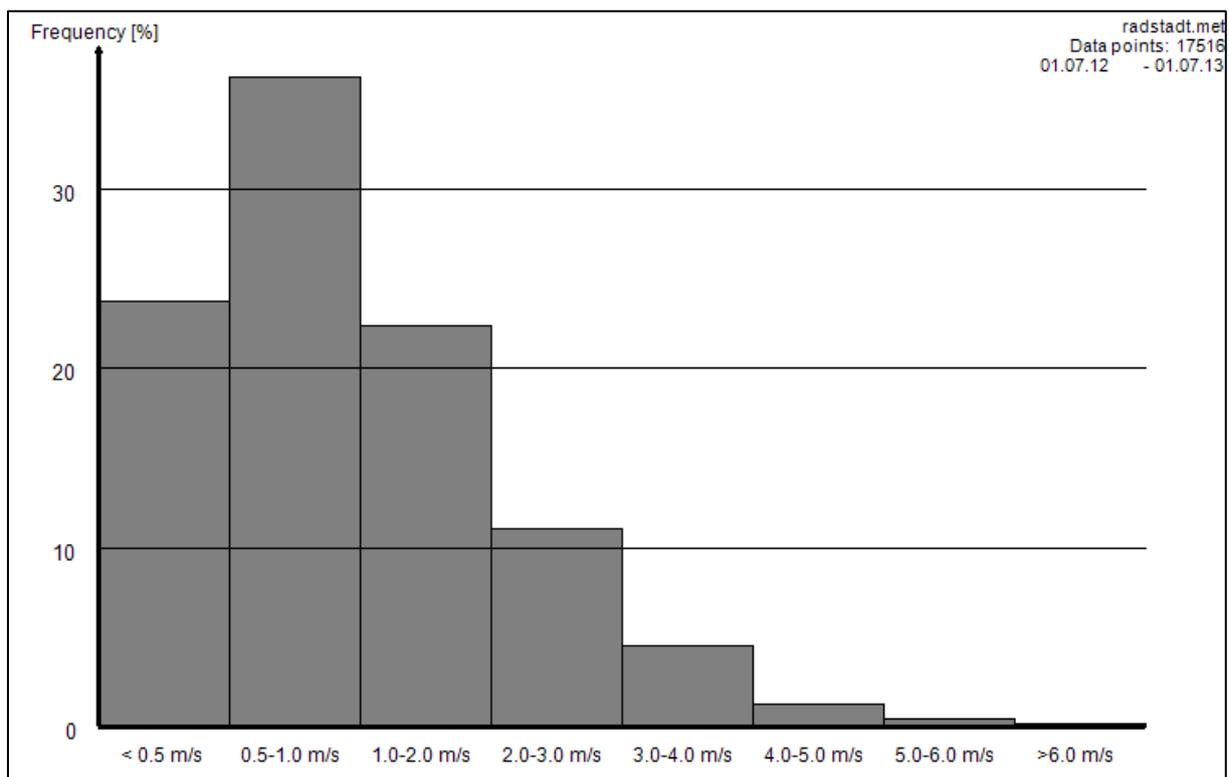


Abbildung 10: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Radstadt

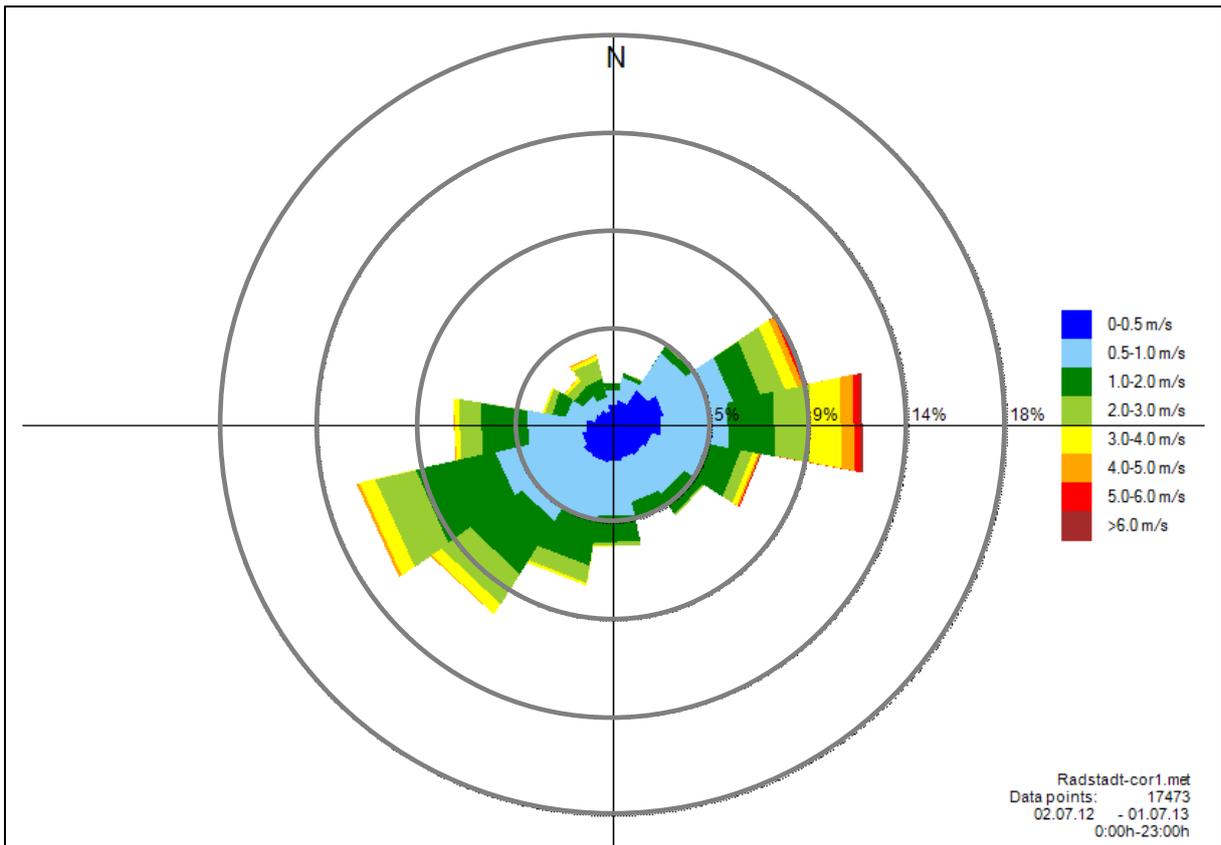


Abbildung 11: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Windgeschwindigkeitsklassen am Standort Salzburg Radstadt

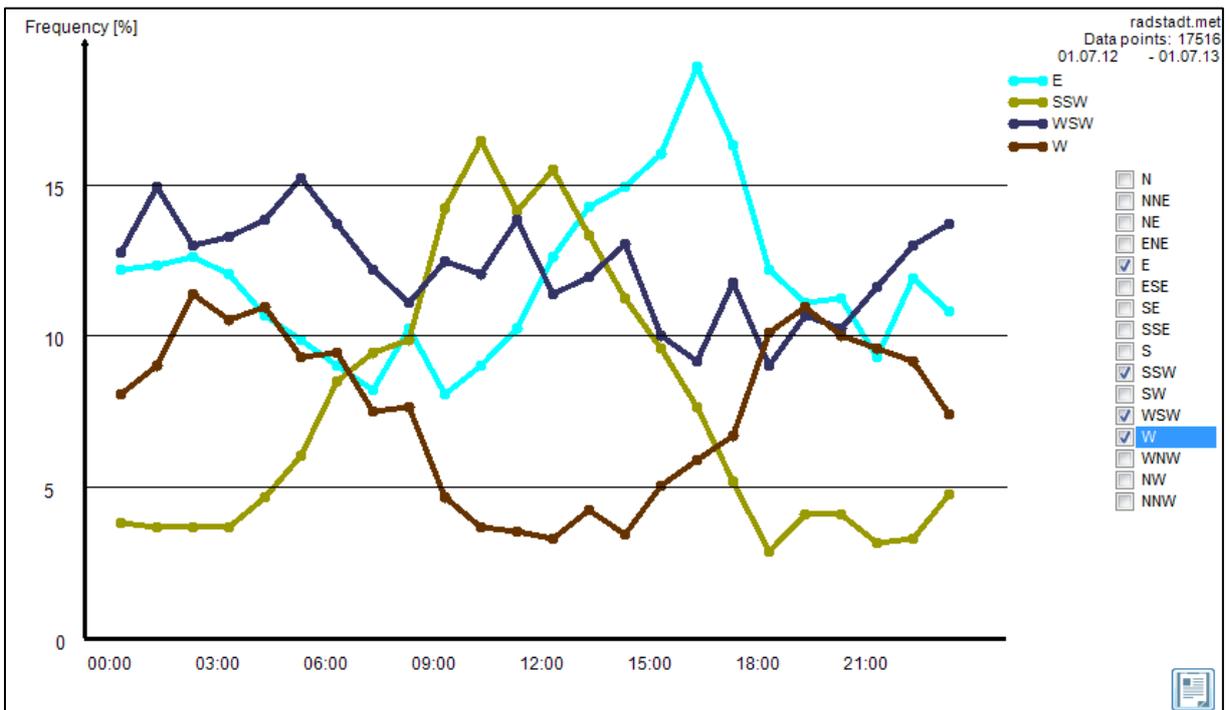


Abbildung 12: Mittlere Häufigkeit der Hauptwindrichtungen am Standort Salzburg Radstadt

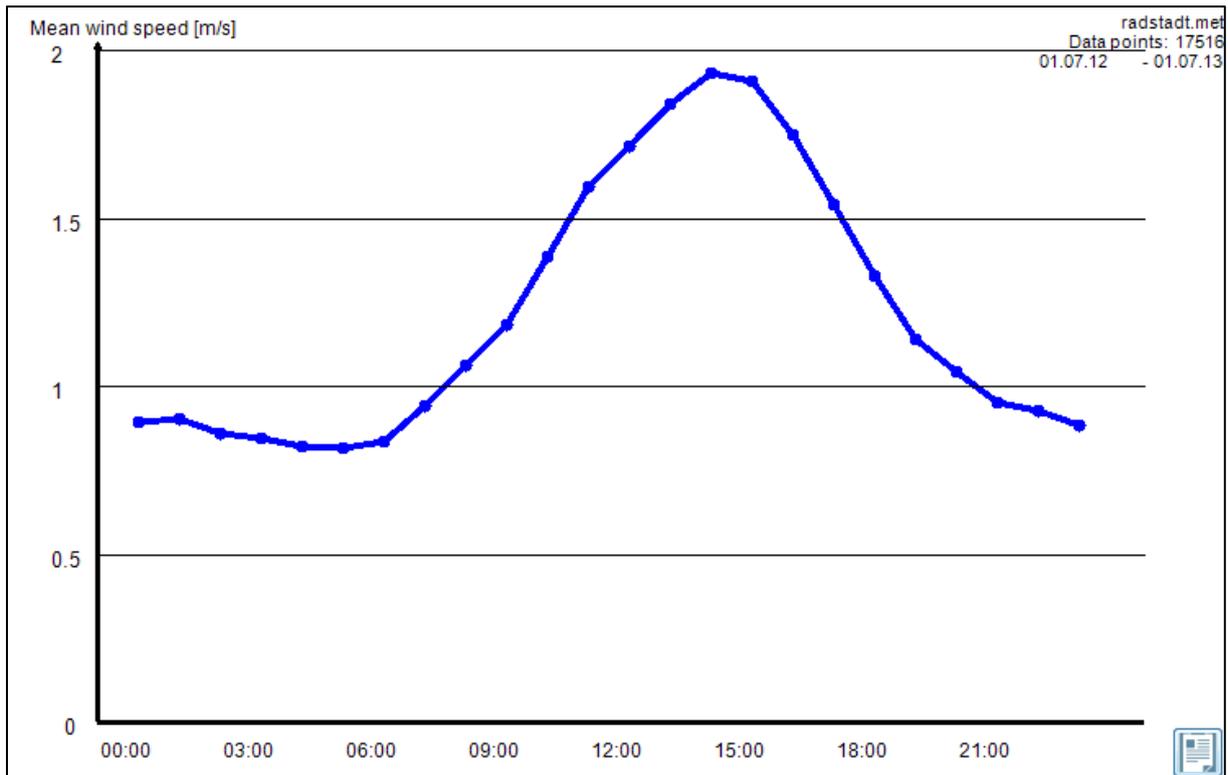


Abbildung 13: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Radstadt

5.2 Luftgüte

5.2.1 Messdaten - 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. Die Daten wurden den Jahresberichten 2010 bis 2014 entnommen [7-11] (Tabelle 6). Die Lage der Passivsammler ist in Abbildung 14 dargestellt.

Tabelle 6: Passivsammlermessungen im Bezirk Pongau

Jahr	Standort	Lage	JMW NO2 [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Klasse
2010	Flachau Kirche	Wohngebiet, verkehrsnah	28.9	III
2011	Radstadt B99	regionaler Hintergrund	14.4	I
2010	Radstadt Bundesstrasse	verkehrsnah	38.1	III
2011		industrienah	27.1	II
2012	Radstadt Bundesstrasse 1	verkehrsnah	37	III
2013			36.4	III
2014			33.8	III
2012	Radstadt Bundesstrasse 2	verkehrsnah	28.9	II
2013			26.8	II
2014			25	I
2010	Radstadt Feuerwehr	Wohngebiet	22.7	I
2011			24.5	I
2012			22.1	I
2013			20.6	I
2014			18.4	I

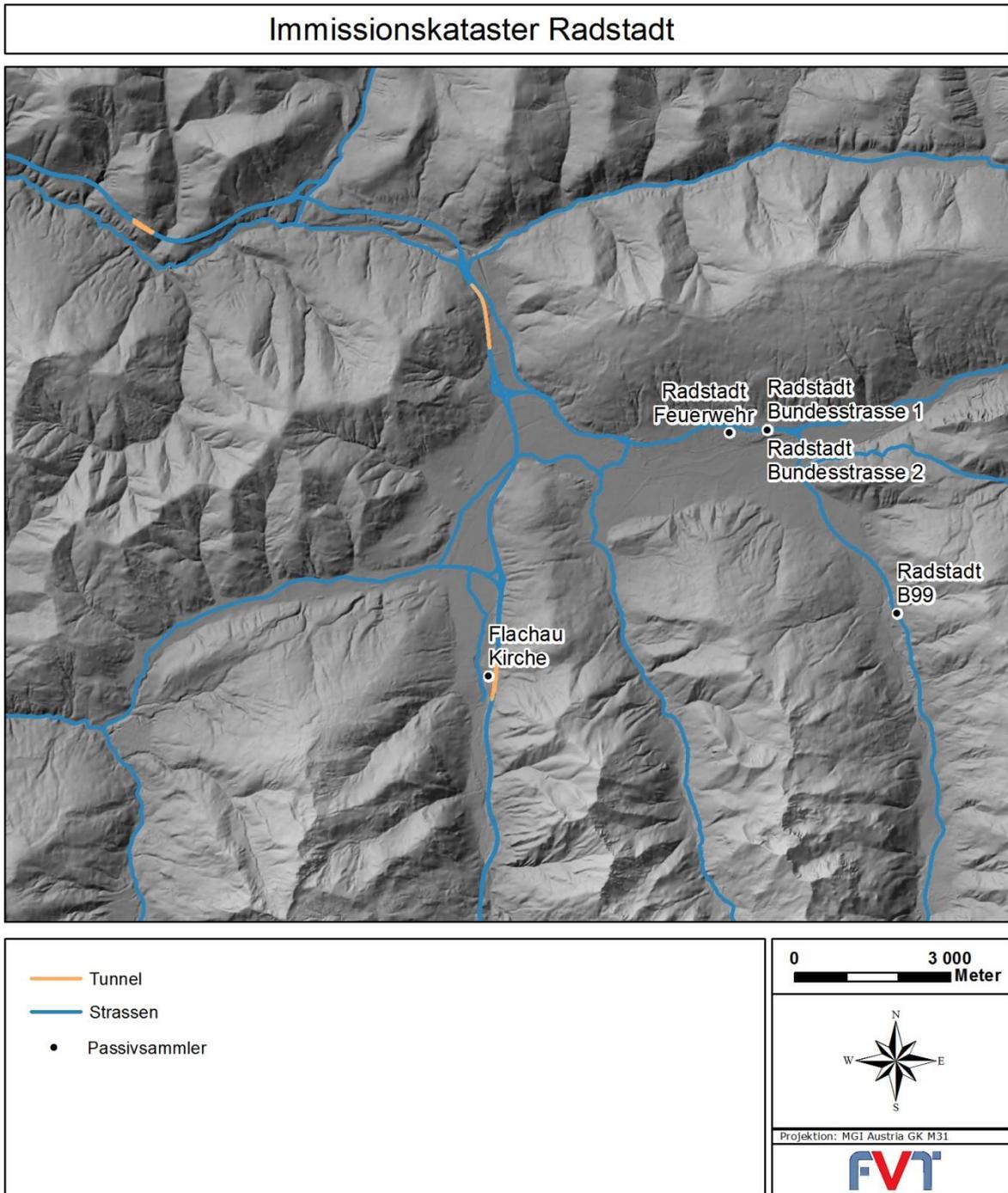


Abbildung 14: Lage der Passivsammler im Bezirk Pongau

5.2.2 Vertikale Abhängigkeit der Vorbelastung

Zur Beschreibung der Abhängigkeit der Hintergrundbelastung von der Seehöhe wurde ein exponentieller Ansatz nach Seinfeld [12] verwendet. Für den Talboden auf einer Seehöhe von ca. 450 m wurde eine Vorbelastung von 30 µg/m³ für den Jahresmittelwert und 150 µg/m³ für den maximalen Tagesmittelwert angenommen. Der vertikale Verlauf der Vorbelastung wird in den folgenden Abbildungen mit Messdaten im Raum Salzburg verglichen.

5.3 Emissionen

Zur besseren Übersicht werden in diesem Kapitel die Emissionen innerhalb des Berechnungsgebietes dargestellt. In Tabelle 7 sind die Emissionen der Punkt-, Linien- und Flächenemissionen aufgelistet. Die Anteile der unterschiedlichen Quellen an den Gesamtemissionen im Untersuchungsgebiet von Radstadt werden in Abbildung 15 dargestellt.

Tabelle 7: NO_x-Emissionen im Untersuchungsgebiet für das Jahr 2010

	Quellgruppe	Beschreibung	NO _x [t/a]
Punkte	1	Gewerbe & Industrie	16
	2	Heizwerke	49
Linien	3	PKW, IO+AO	56
	4	LKW, IO+AO	63
	5	PKW, AB	135
	6	LKW, AB	203
Flächen	7	Kleinverbraucher	45
	8	Traktoren	61
	9	Pistenwalzen	25
	10	Flächenverkehr	26

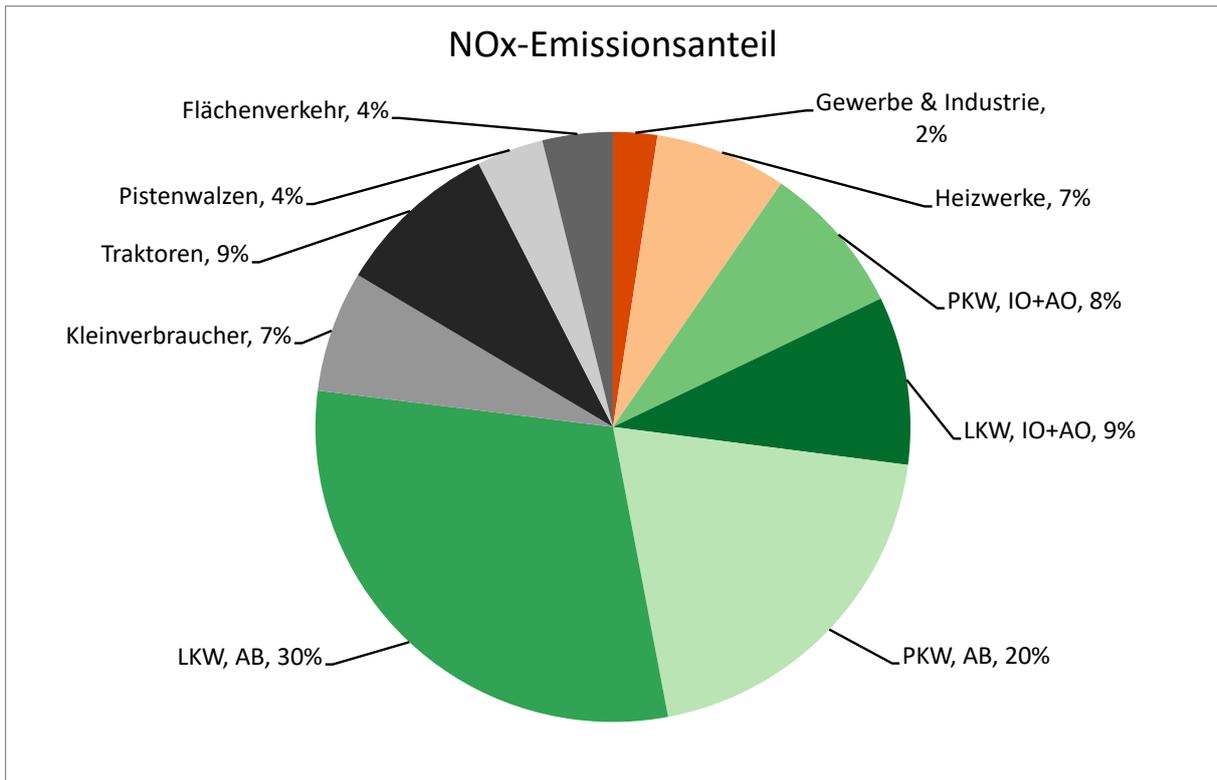


Abbildung 15: Anteil der Quellgruppen an den NO_x-Emissionen im Untersuchungsgebiet

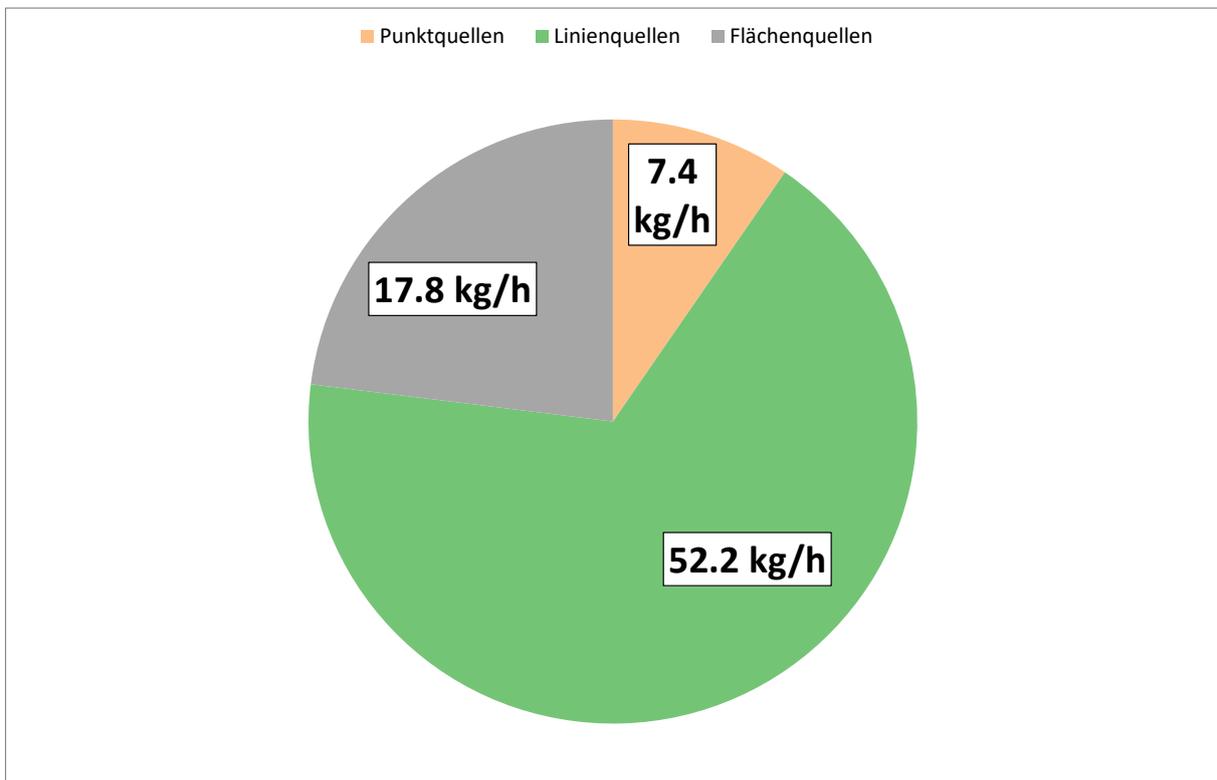


Abbildung 16: Anteil der Quellkategorien an den NO_x-Emissionen im Untersuchungsgebiet

Der größte Emittent im Raum Radstadt ist der Verkehr. Rund 67 % der gesamten NO_x-Emissionen werden ihm zugeschrieben. Die übrigen Emissionen stammen zu 10 % von Gewerbe- und Industrieanlagen und Heizwerken. Die restlichen 23 % entfallen auf Kleinverbraucher, Traktoren, Pistenwalzen und Flächenverkehr.

Die Linienquellen haben aufgrund der geringen Quellhöhe den höchsten Einfluss auf die bodennahen Immissionsbelastungen.

In den folgenden Abbildungen wird die räumliche Verteilung der Punkt-, Linien-, und Flächenquellen innerhalb des Untersuchungsgebietes dargestellt. Insgesamt gibt es im Untersuchungsgebiet neun Punktquellen die in zwei Quellgruppen aufgeteilt worden sind. Alle Punktquellen sind kleine Quellen und emittieren in einer Höhe von 10 m, außer die Punktquelle Jägerzaun GmbH, die in einer Höhe von 13 m emittiert. Drei Punktquellen emittieren mehr als 1 kg/h. Die höchste Punktemission beträgt 1.7 kg/h.

Bei den Linienquellen weisen die A10 aufgrund der großen Verkehrsbelastung die größten Quellstärken auf.

Immissionskataster Radstadt

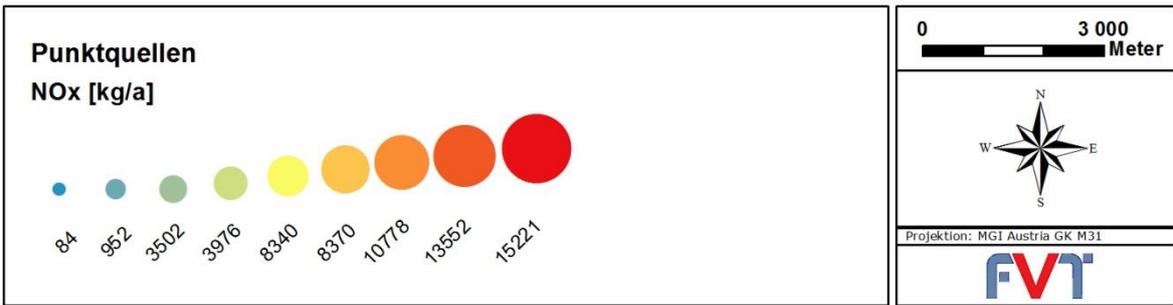
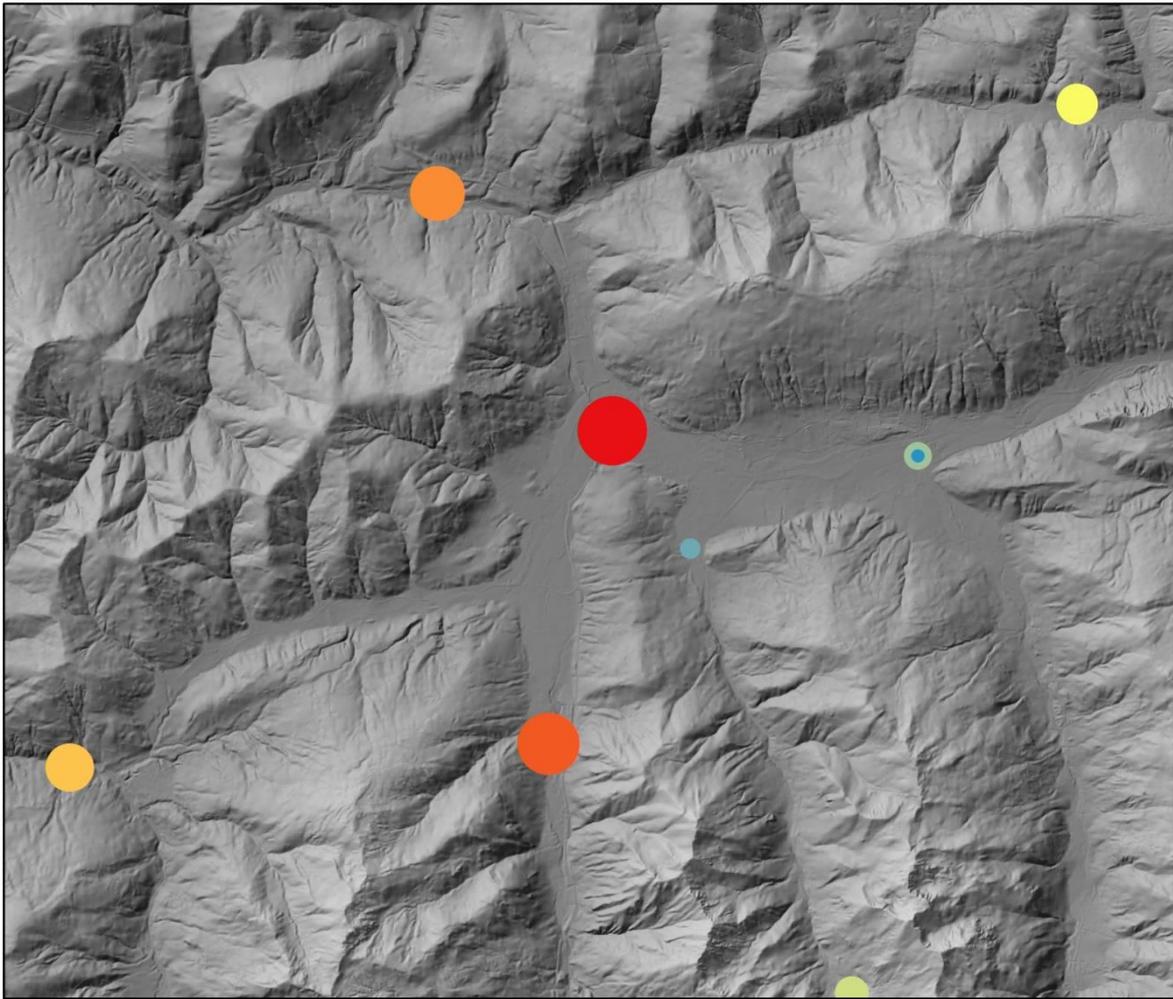


Abbildung 17: NO_x-Punktquellen im Untersuchungsgebiet

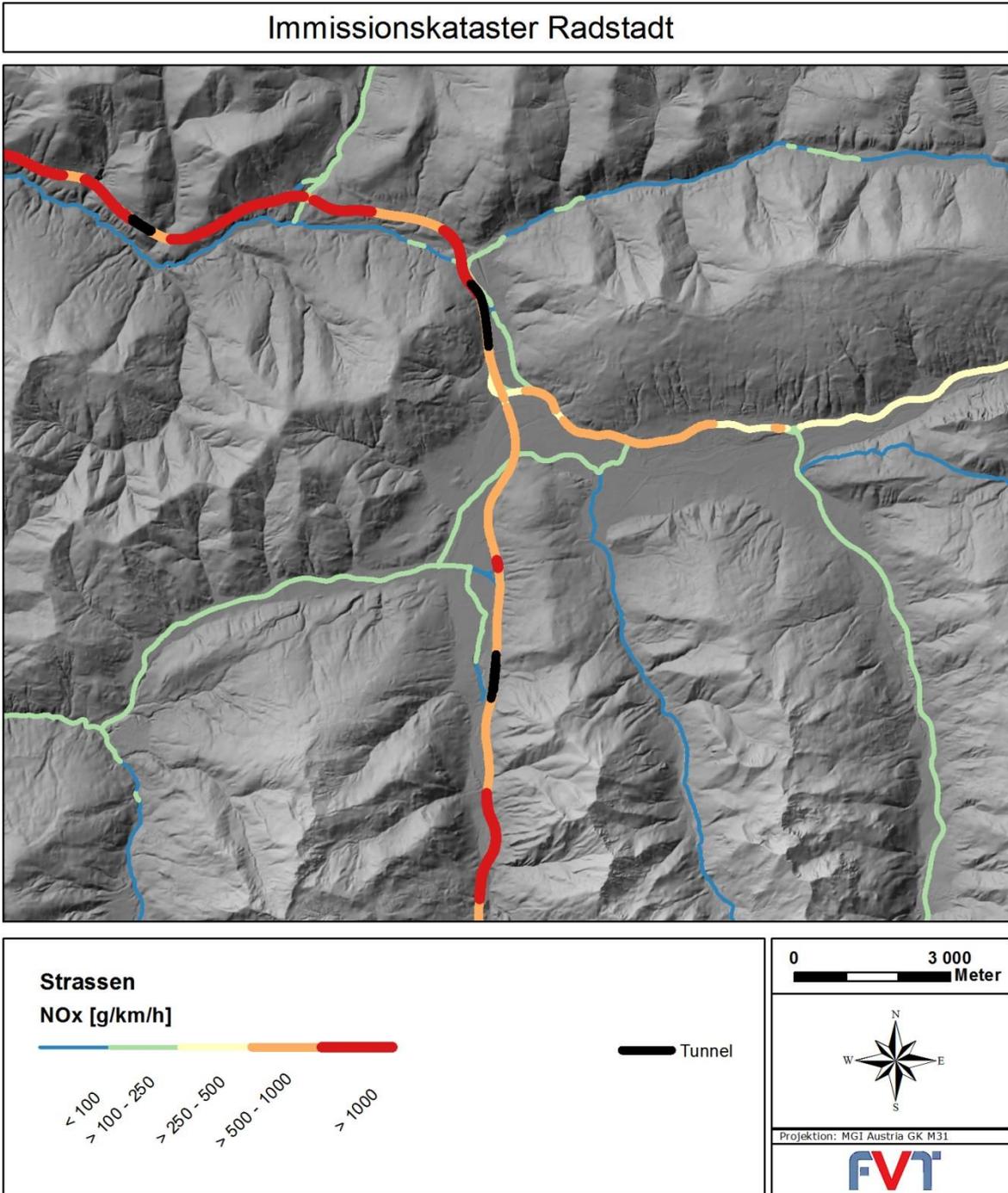


Abbildung 18: NO_x-Linienquellen Im Untersuchungsgebiet

Immissionskataster Radstadt

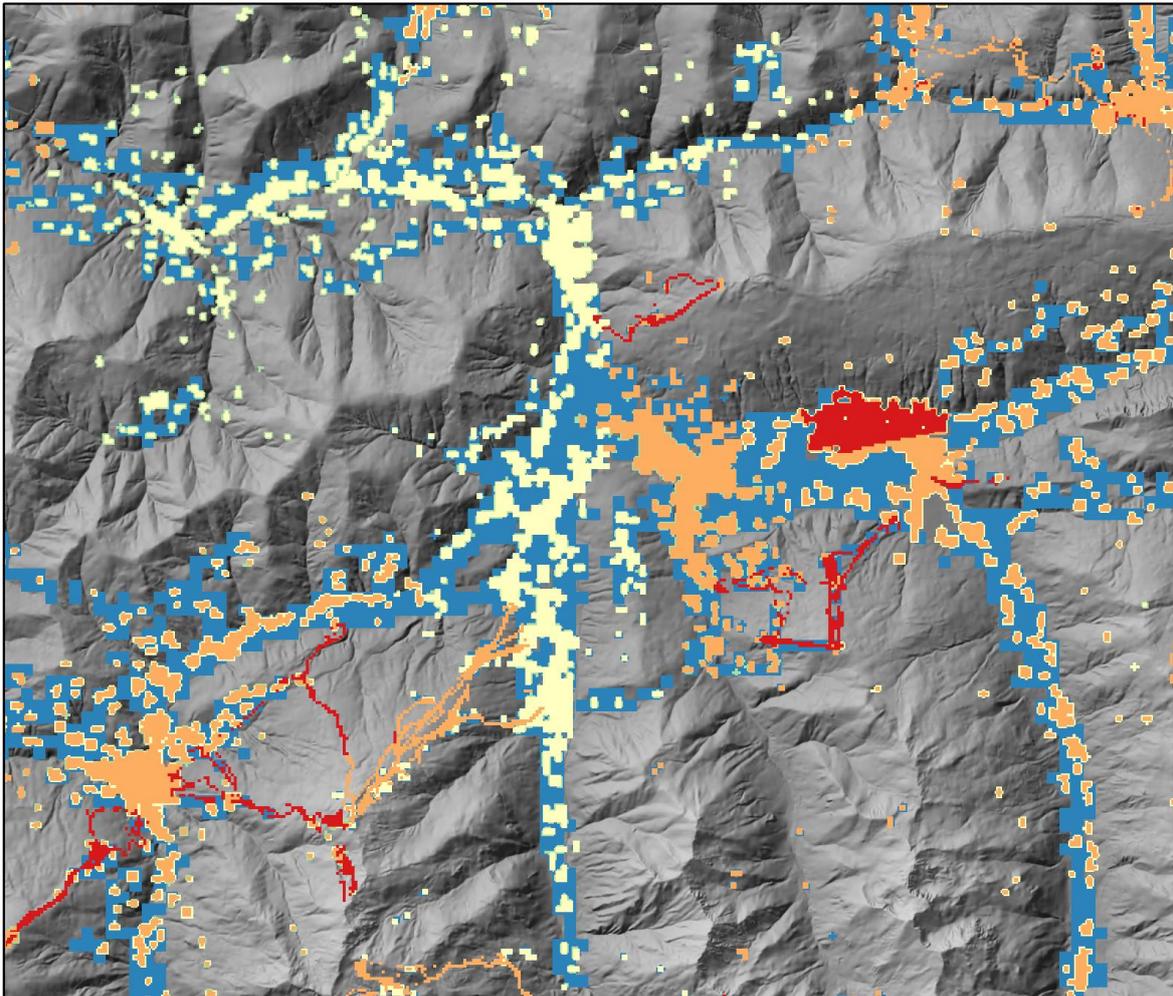


Abbildung 19: NO_x-Flächenquellen im Untersuchungsgebiet

6 Simulationen

6.1 Strömungsmodellierung

Die Modellierung der Strömungsfelder wurde mit dem Modell GRAMM (Version gramm220615_Inx) mit einer horizontalen Auflösung von 200 m x 200 m durchgeführt.

Für die Validierung der Strömungsfelder werden die Modellergebnisse mit den Messdaten der Stationen Radstadt und Altenmarkt-Therme verglichen (Abbildung 20 und Abbildung 21). Die Hauptwindrichtungen stimmen bei beiden Stationen sehr gut überein. Des Weiteren kommt es zu einer geringen Verschiebung zu niedrigeren Windgeschwindigkeitsklassen. Damit wird die Kalmenhäufigkeit im Modell geringfügig überschätzt.

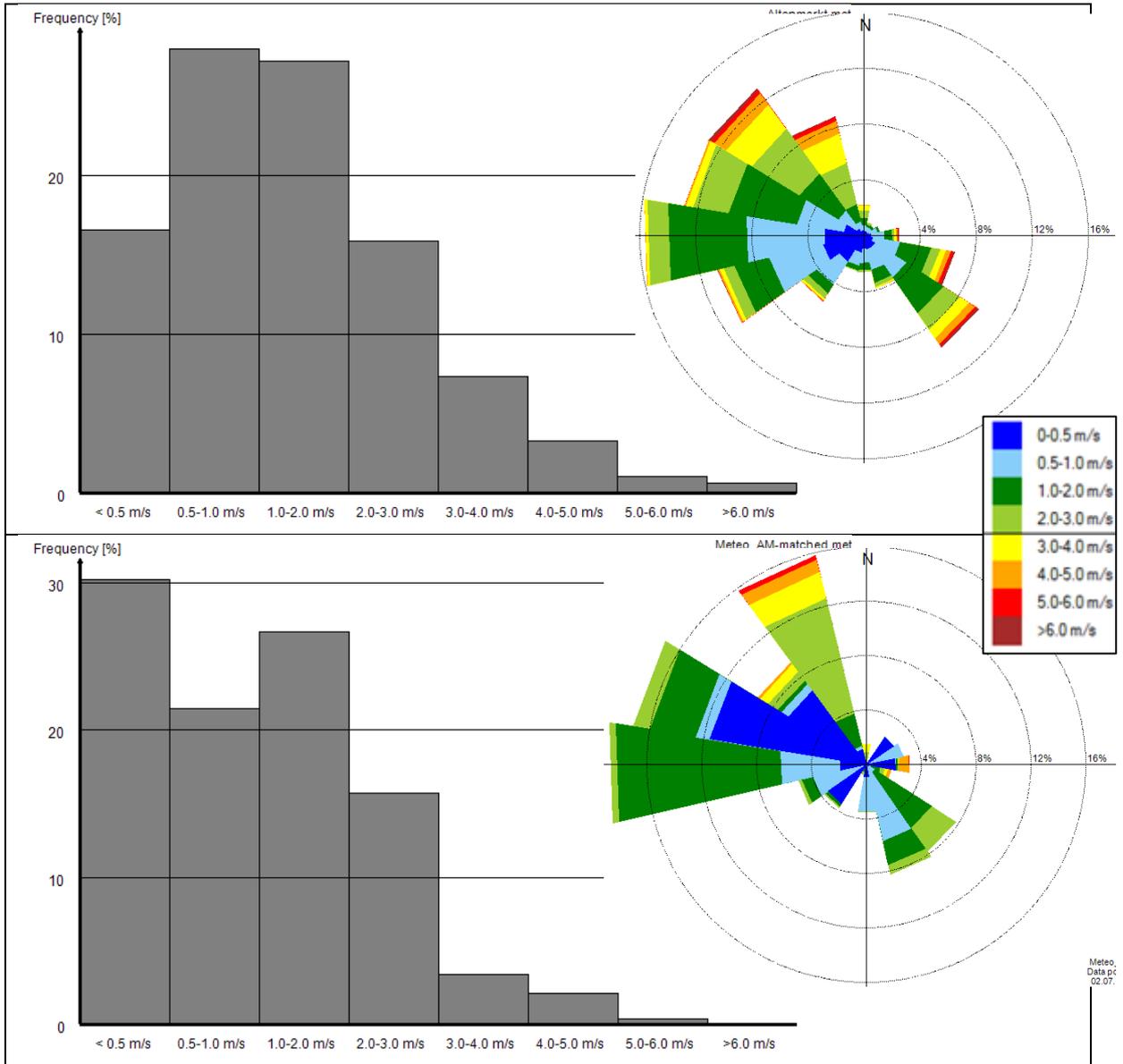


Abbildung 20: Vergleich der Windgeschwindigkeitsklassen sowie der Windrosen an der Station Altenmarkt Messung (oben) gegen Simulation (unten)

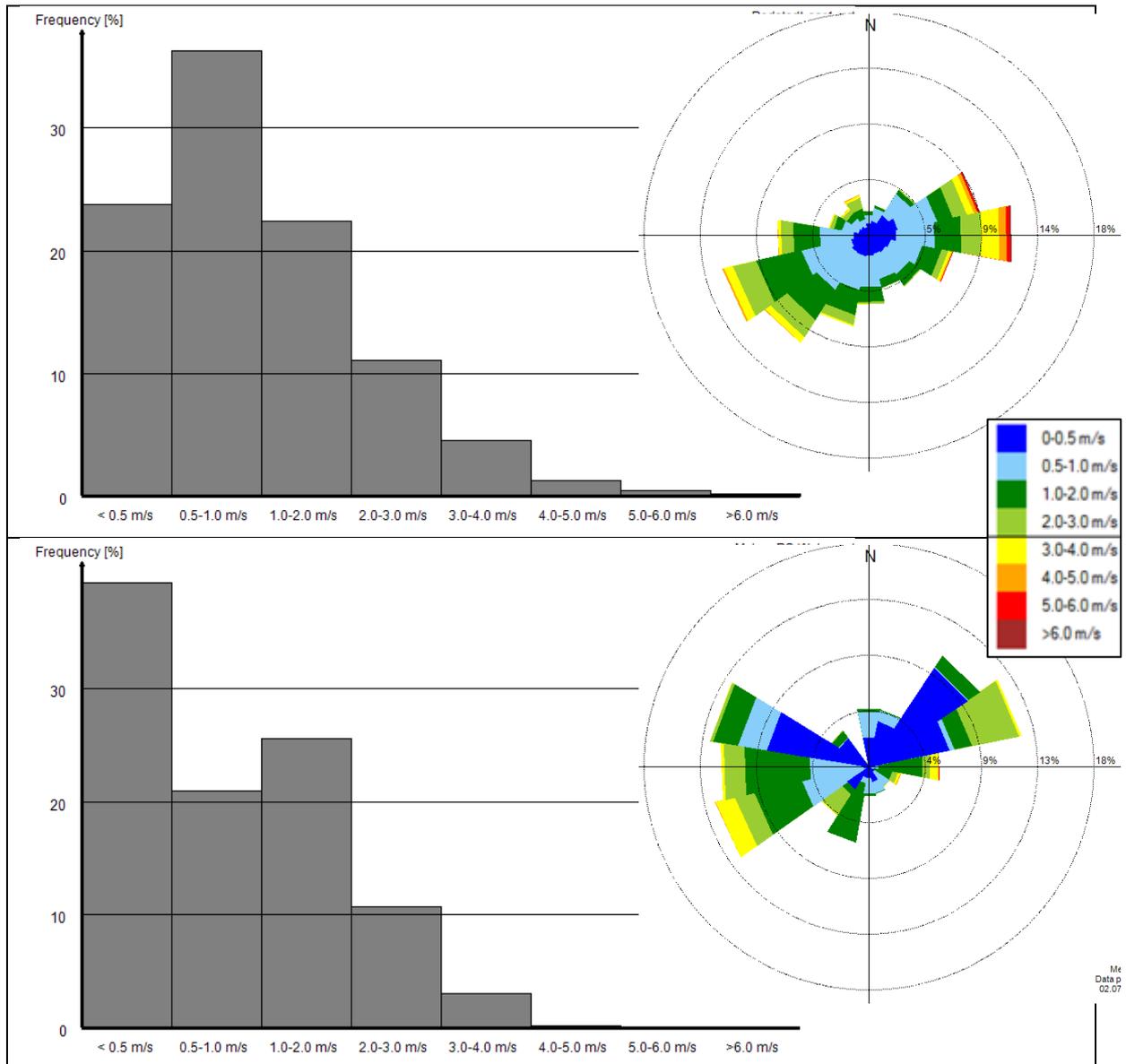


Abbildung 21: Vergleich der Windgeschwindigkeitsklassen sowie der Windrosen an der Station Radstadt Messung (oben) gegen Simulation (unten)

6.2 Jahresmittelwert Stickstoffoxide (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 Kaminemissionen der Punktquellen verursachen in begrenzten Gebieten maximale Immissionsbelastungen von rund 6 µg/m³. Der Einfluss auf das restliche Untersuchungsgebiet mit unter 1 µg/m³ ist jedoch gering.

Die berechneten Immissionsbelastungen durch den Flächenverkehr erreichen maximal 2 µg/m³, vor allem in Radstadt und Altenmarkt. Im restlichen Gebiet trägt diese Quellgruppe praktisch nichts zur Gesamtbelastung bei.

Bei der Quellgruppe Kleinverbraucher und Haushalte treten die höchsten Konzentrationen im Stadtgebiet von Radstadt auf und betragen maximal 6-10 µg/m³.

Bei der Quellgruppe Traktoren liegen die Konzentrationen im Großraum Radstadt und Altenmarkt zwischen 2 und 4 µg/m³. Im übrigen Gebiet liegen die Konzentrationen darunter.

Der Beitrag der Quellgruppe Pistenwalzen kann lokal über 6 µg/m³ liegen. Im restlichen Untersuchungsgebiet ist der Beitrag jedoch kleiner als 1 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 15 µg/m³, entlang von Hauptverkehrsstraßen über 10 µg/m³. Die Immissionsbelastungen durch den LKW Verkehr zeigen ein ähnliches Bild. Sehr hohe Belastungen treten wieder entlang der Autobahn und von Hauptverkehrsstraßen auf.

Die gesamte modellierte jahresdurchschnittliche Belastung wird in Abbildung 31 dargestellt.

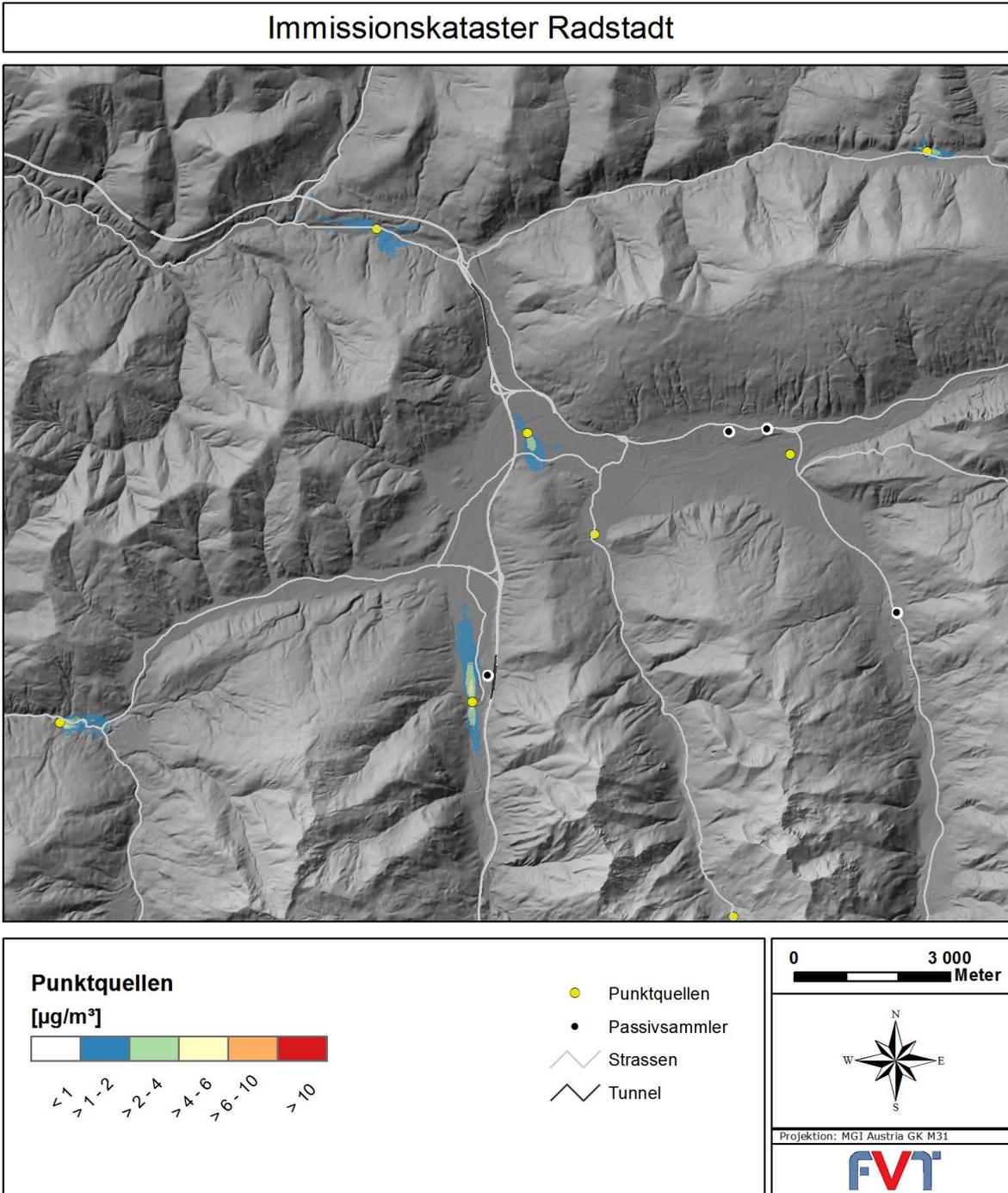


Abbildung 22: Modellierte NO_x -Konzentration im Jahresmittel – Punktquellen

Immissionskataster Radstadt

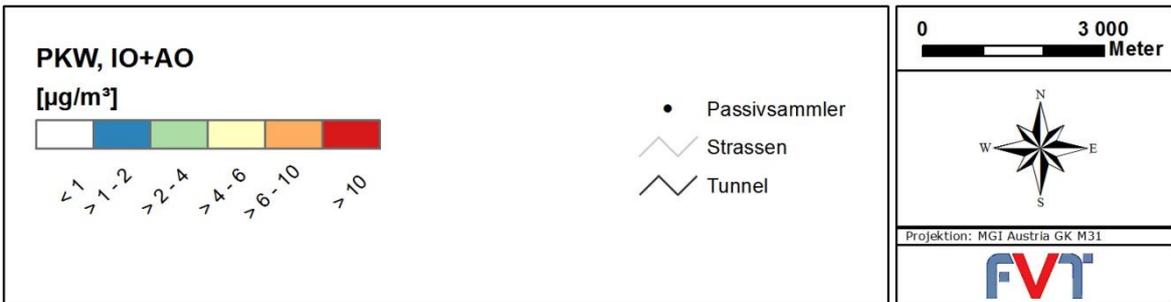
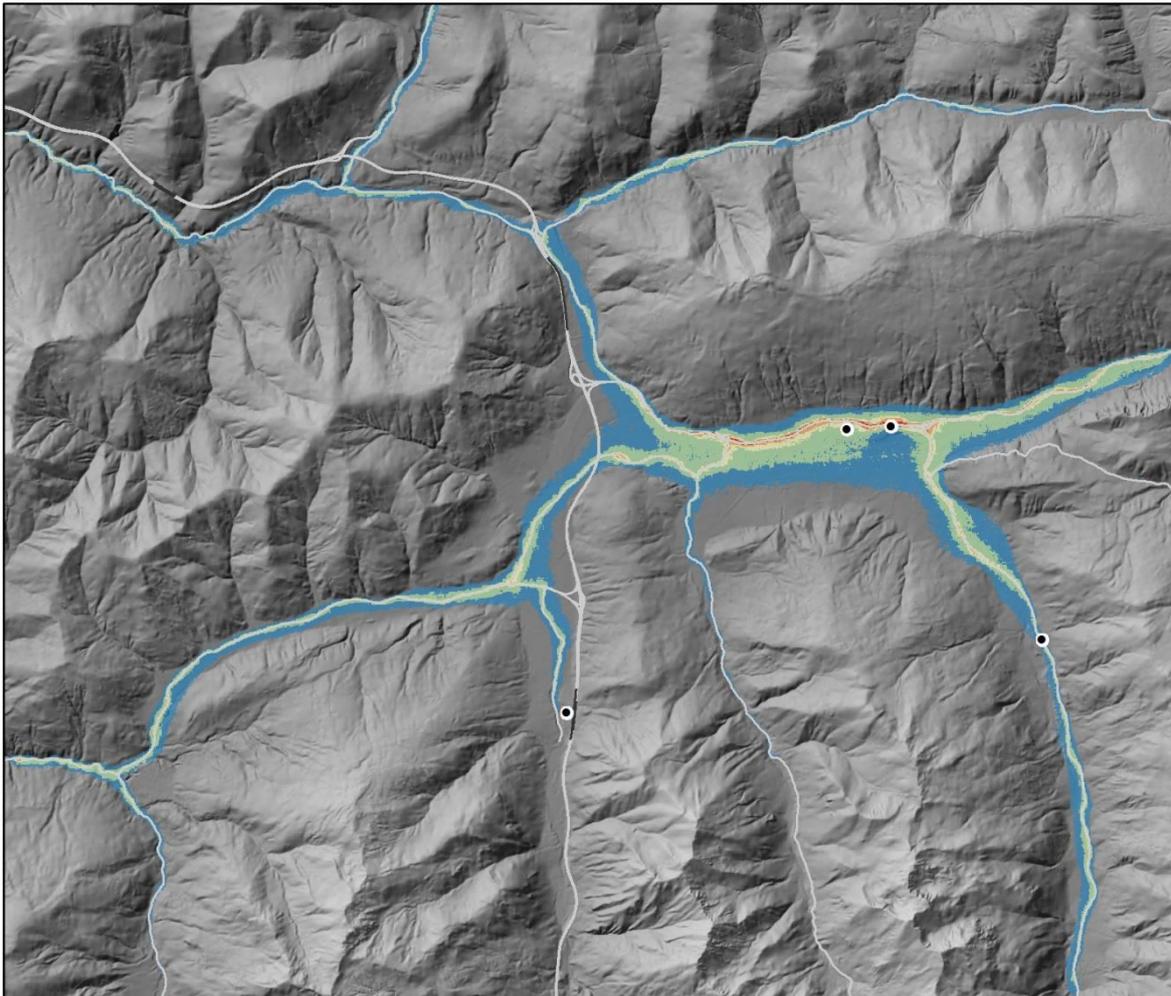


Abbildung 23: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – PKW, Innerorts und Außerorts

Immissionskataster Radstadt

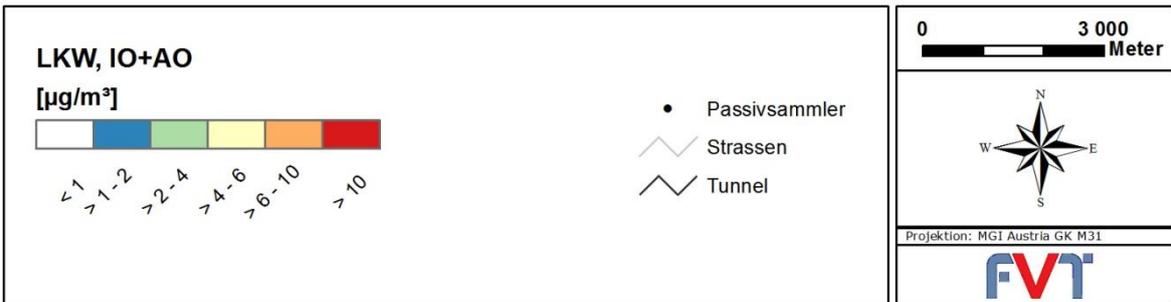
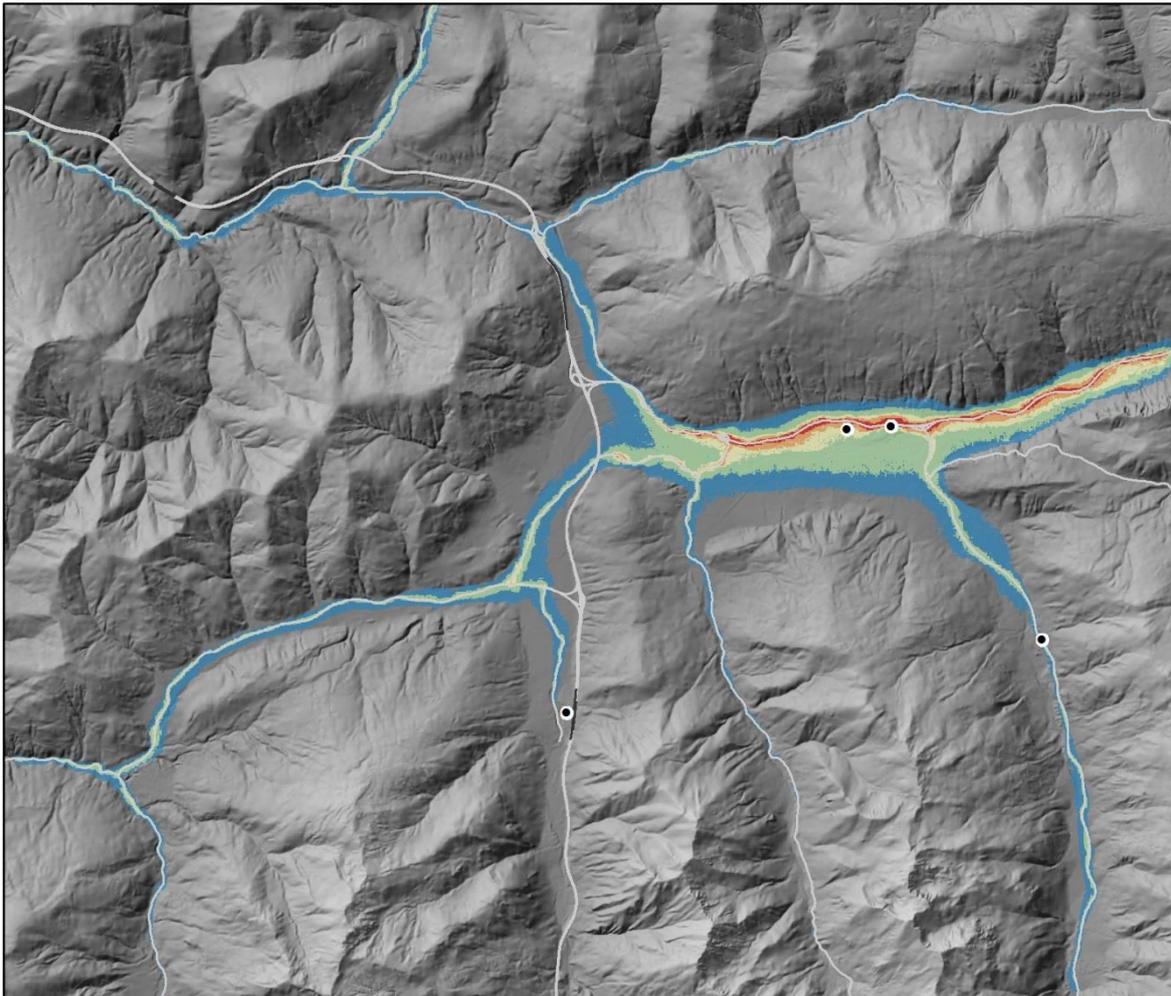


Abbildung 24: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel - LKW, Innerorts und Außerorts

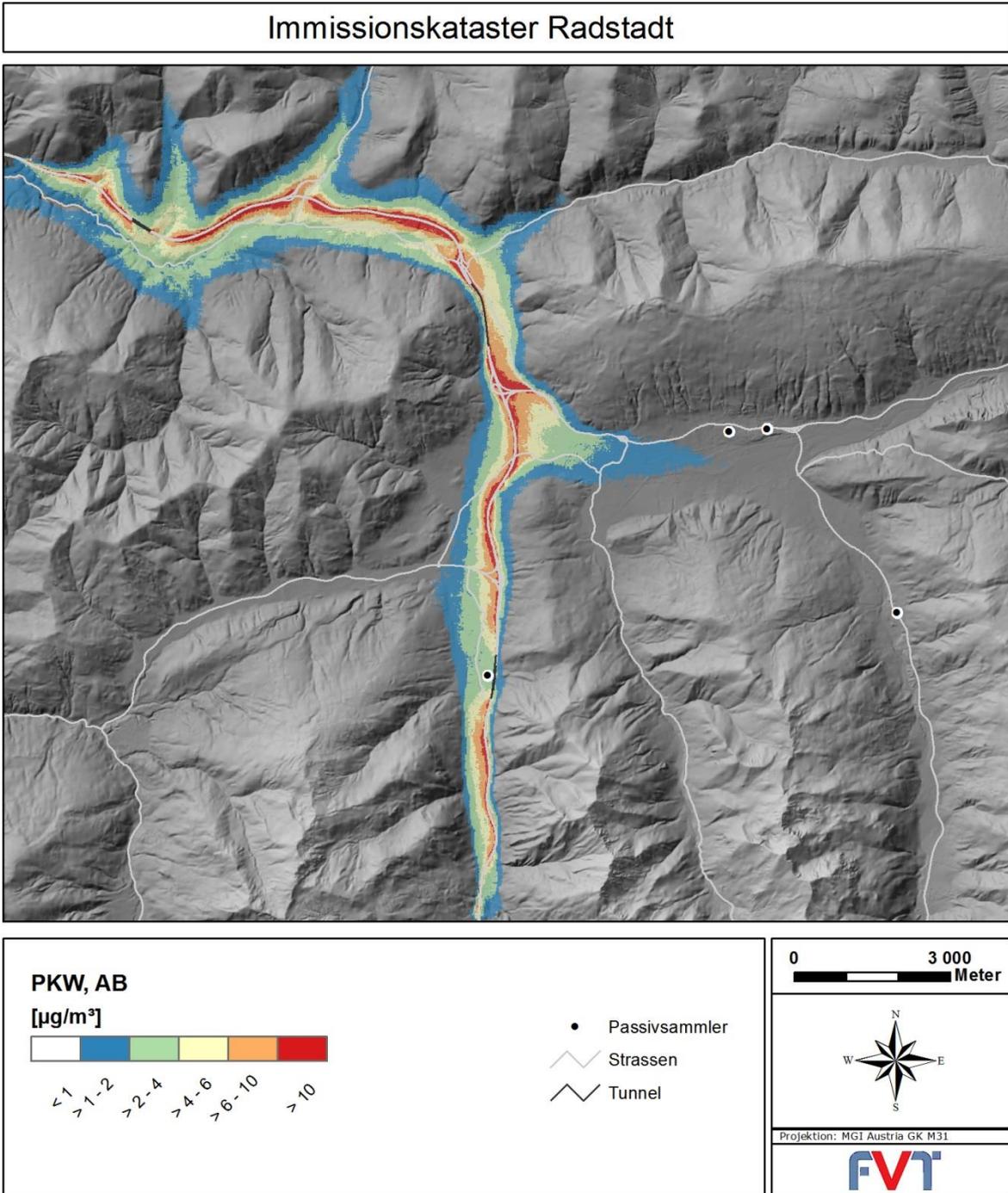


Abbildung 25: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel - PKW, Autobahn

Immissionskataster Radstadt

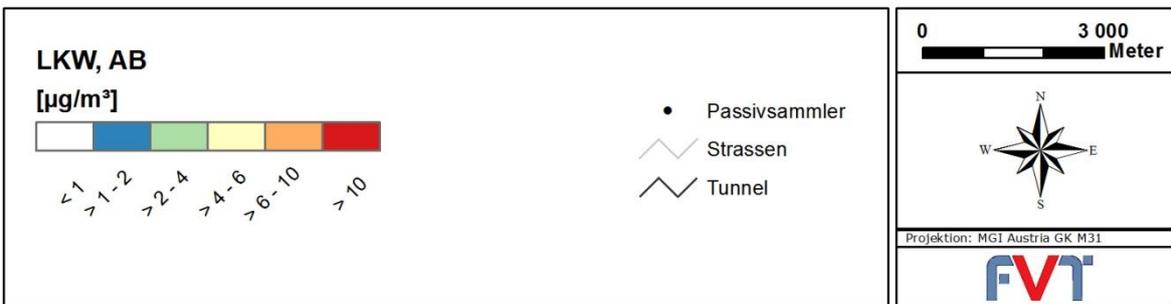
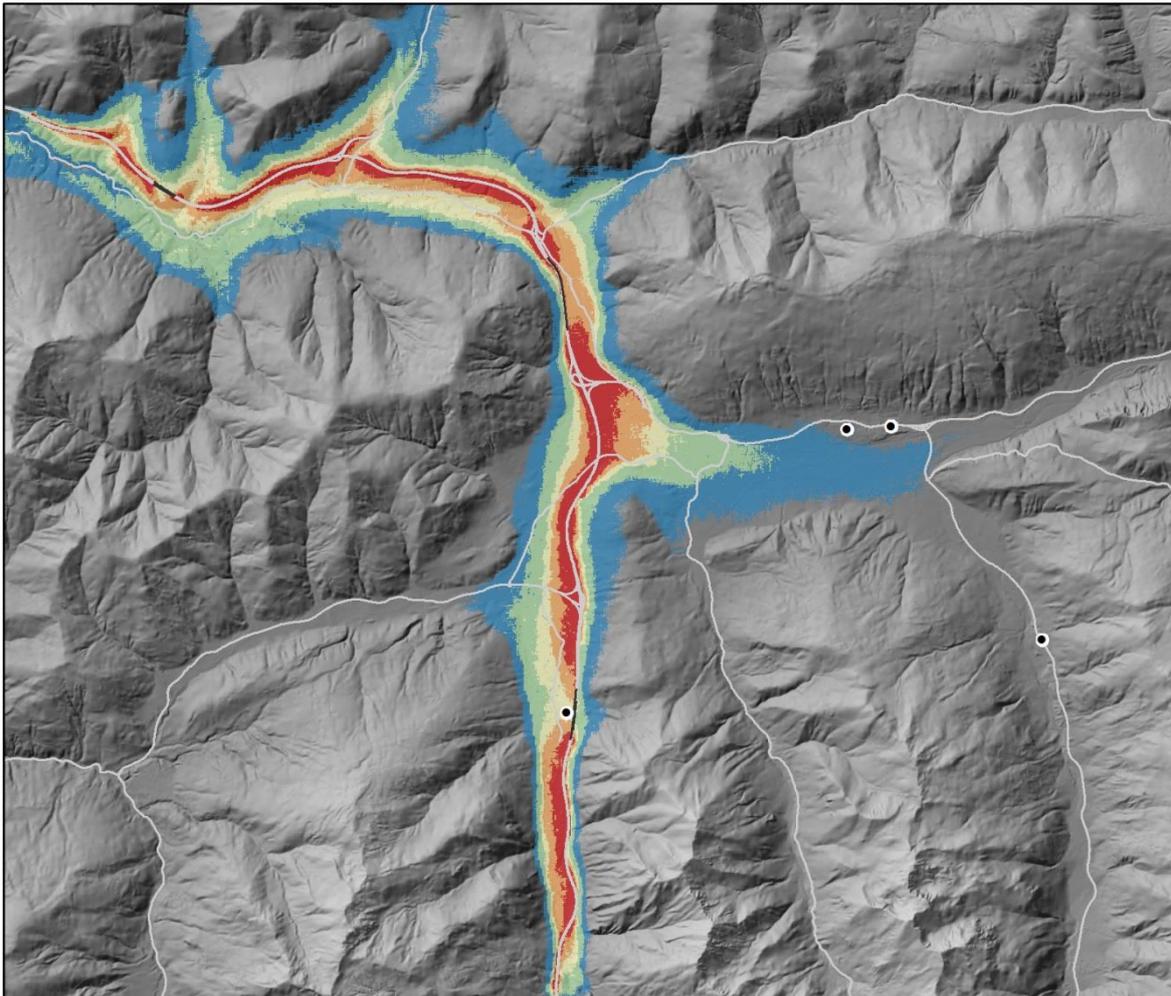


Abbildung 26: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel - LKW, Autobahn

Immissionskataster Radstadt

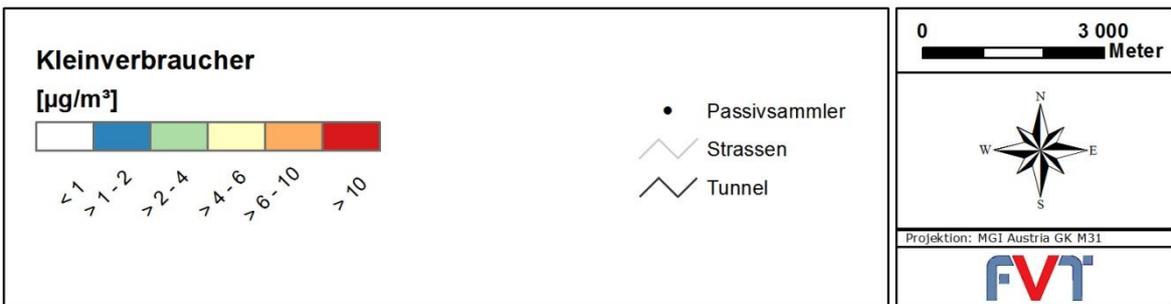


Abbildung 27: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Kleinverbraucher & Haushalte

Immissionskataster Radstadt

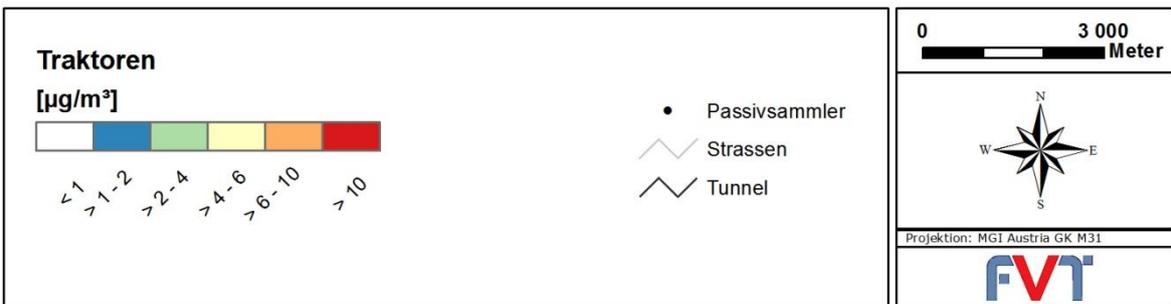


Abbildung 28: Modellierte NO_x -Konzentration im Jahresmittel – Traktoren

Immissionskataster Radstadt

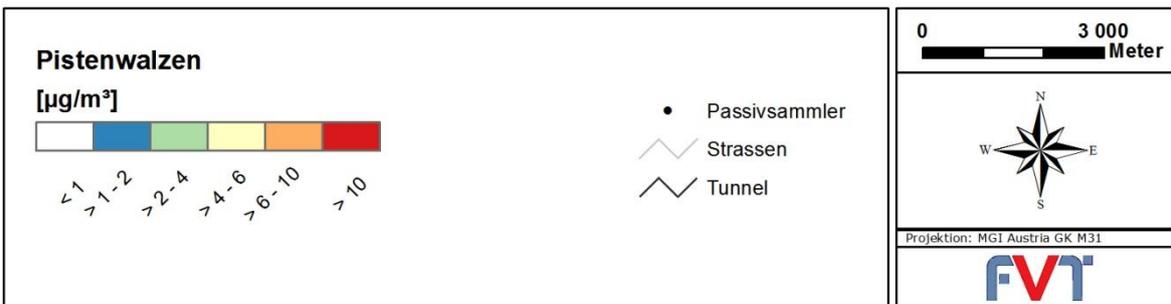
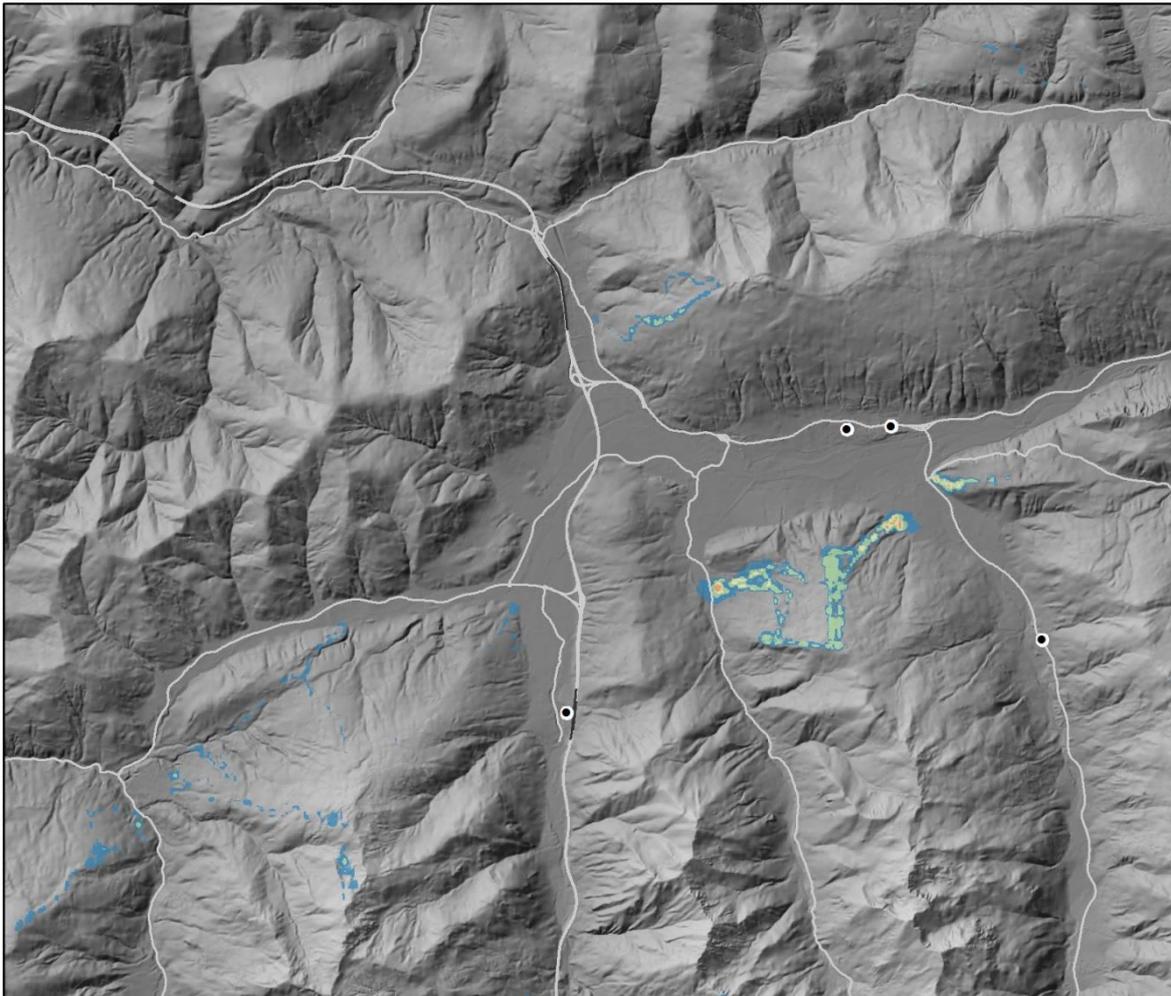


Abbildung 29: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Pistenwalzen

Immissionskataster Radstadt

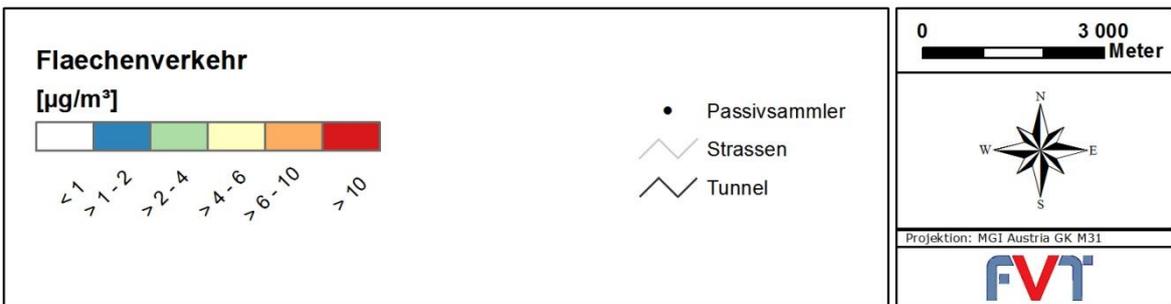
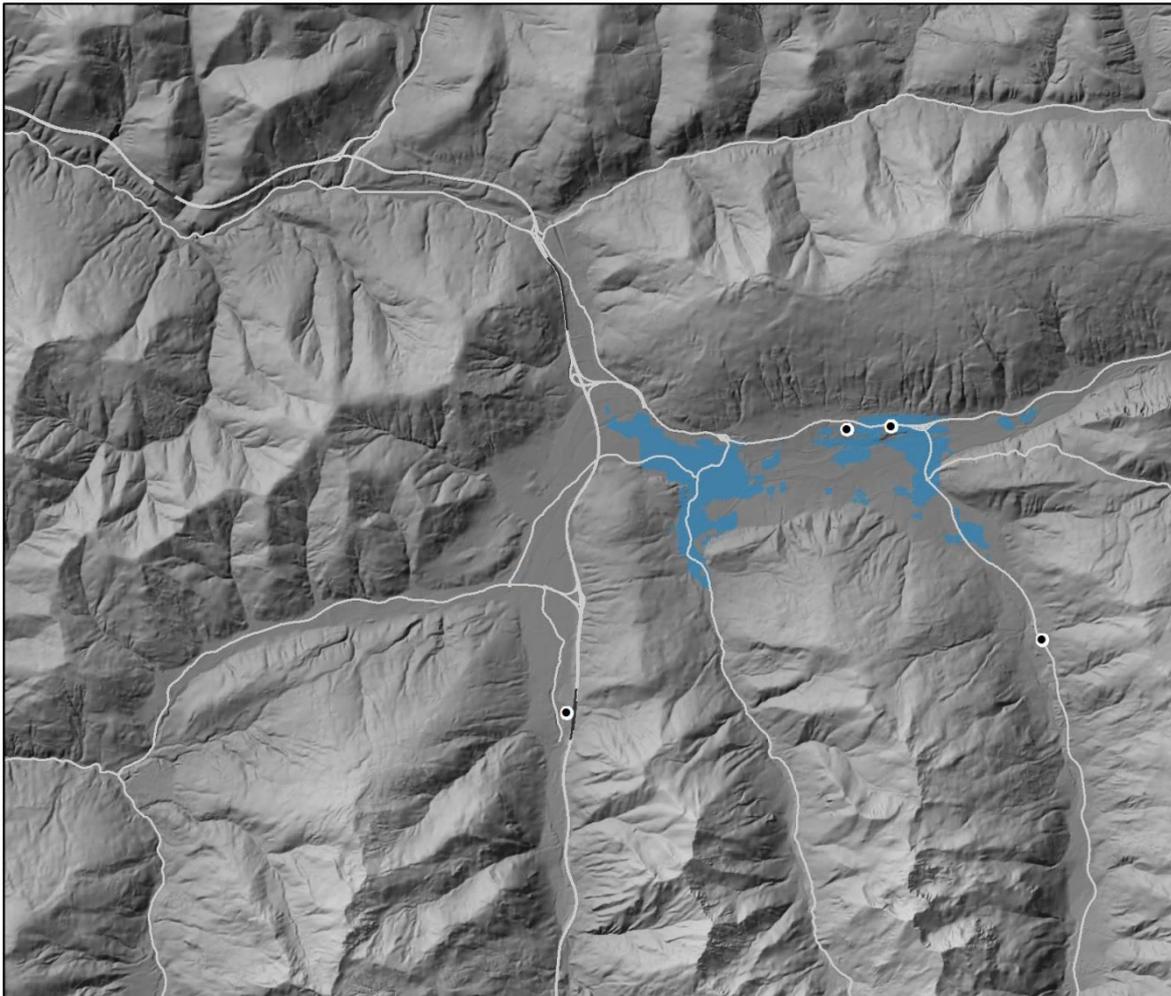


Abbildung 30: Modellierte NO_x -Konzentration im Jahresmittel - Flächenverkehr

Immissionskataster Radstadt

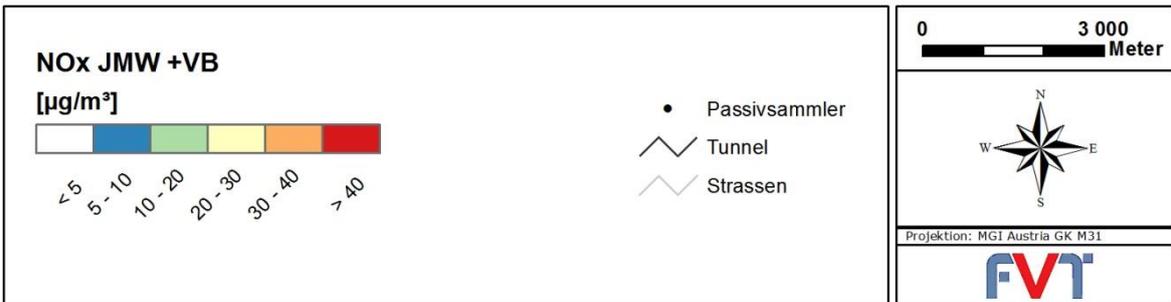
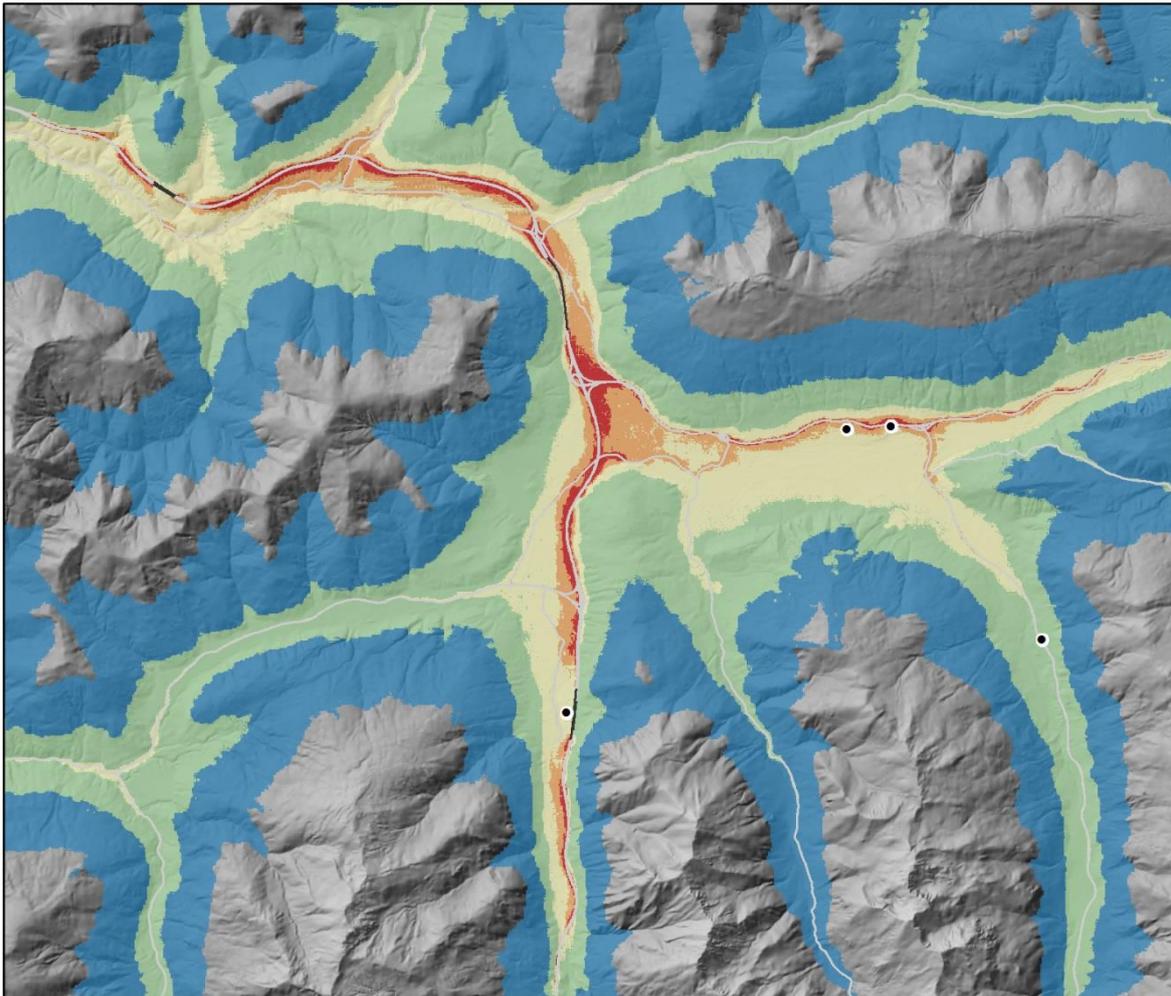


Abbildung 31: Modellierte NO_x-Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung

6.2.2 Quellgruppenanteile

Die modellierten Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen für den Jahresmittelwert an NO_x sind in Abbildung 32 dargestellt. Bei den meisten Stationen ist der Verkehr die dominierende Quelle.

In Abbildung 33 bis Abbildung 37 werden die Quellgruppenanteile an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration für die Messstationen innerhalb des Untersuchungsgebietes ausgewertet.

Der Verkehrsanteil liegt zwischen 33 % und 41 %, der Beitrag der Flächenquellen zwischen 7 % und 25 % und der Beitrag der Punktquellen variiert zwischen 0 % und 2 %.

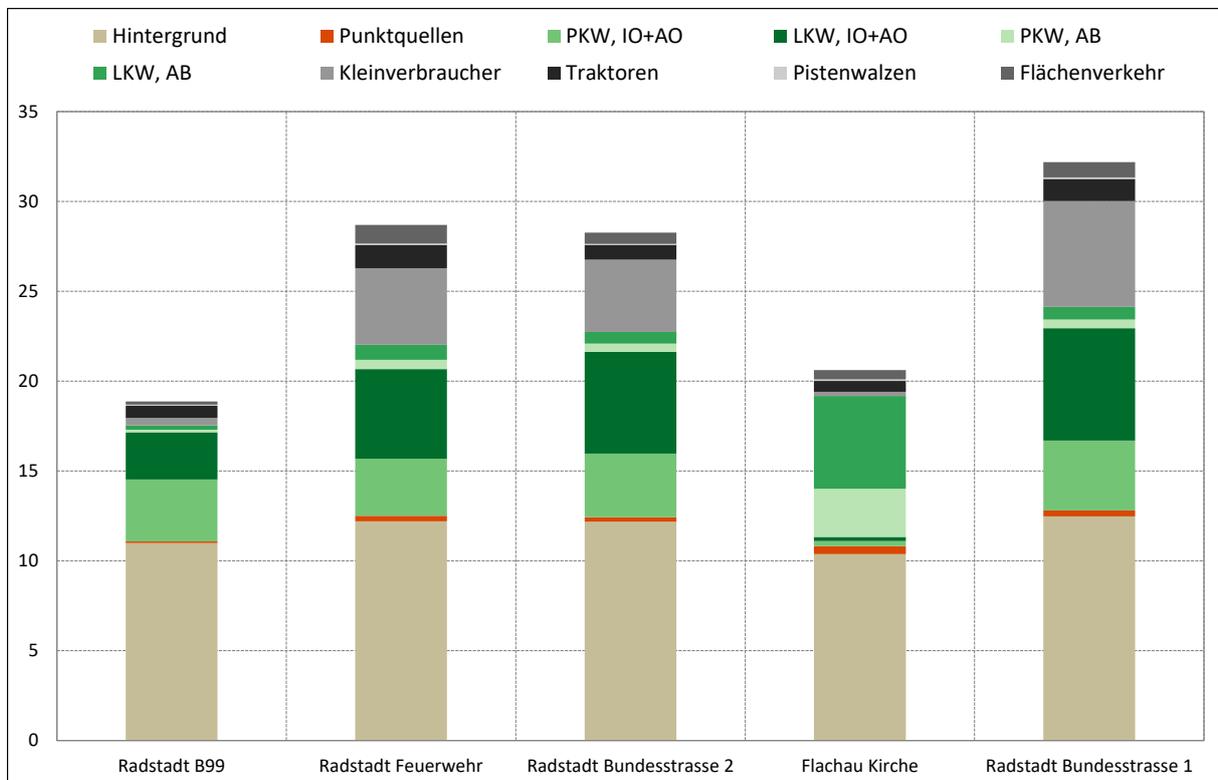


Abbildung 32: Modellierte Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen - JMW NO_x

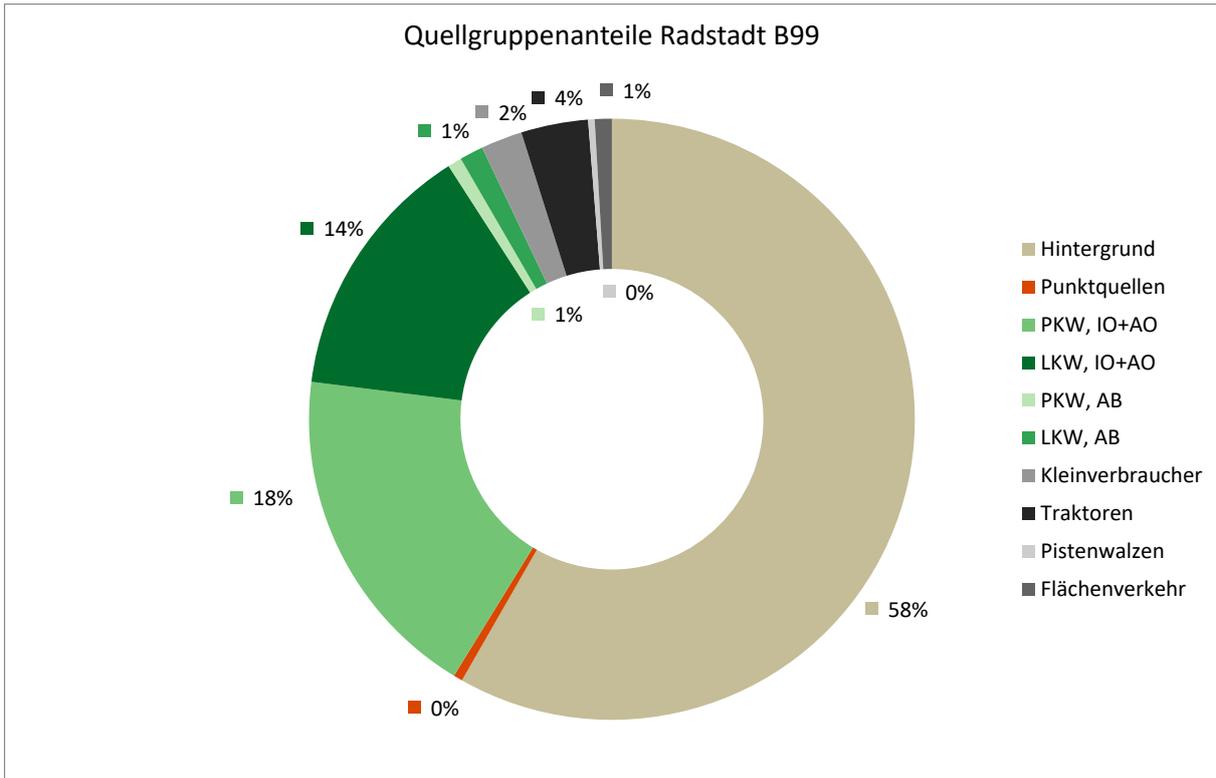


Abbildung 33: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Radstadt B99

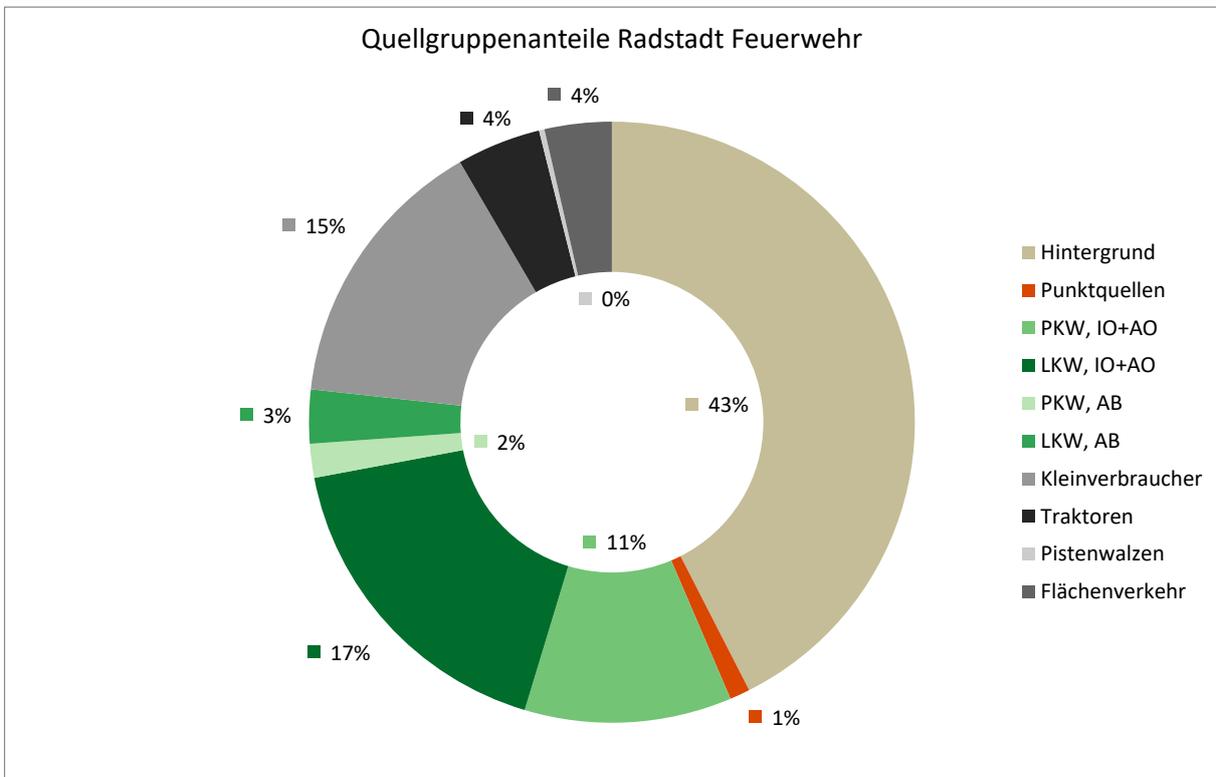


Abbildung 34: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Radstadt Feuerwehr

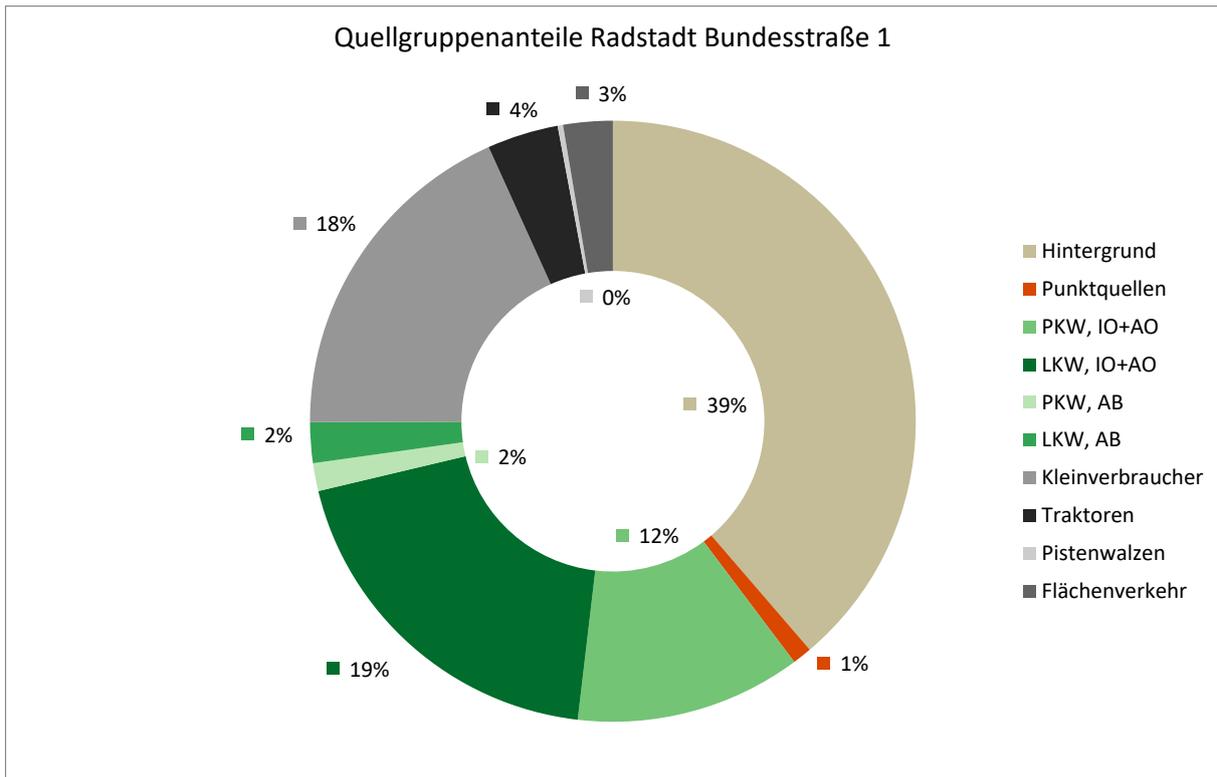


Abbildung 35: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Radstadt Bundesstraße 1

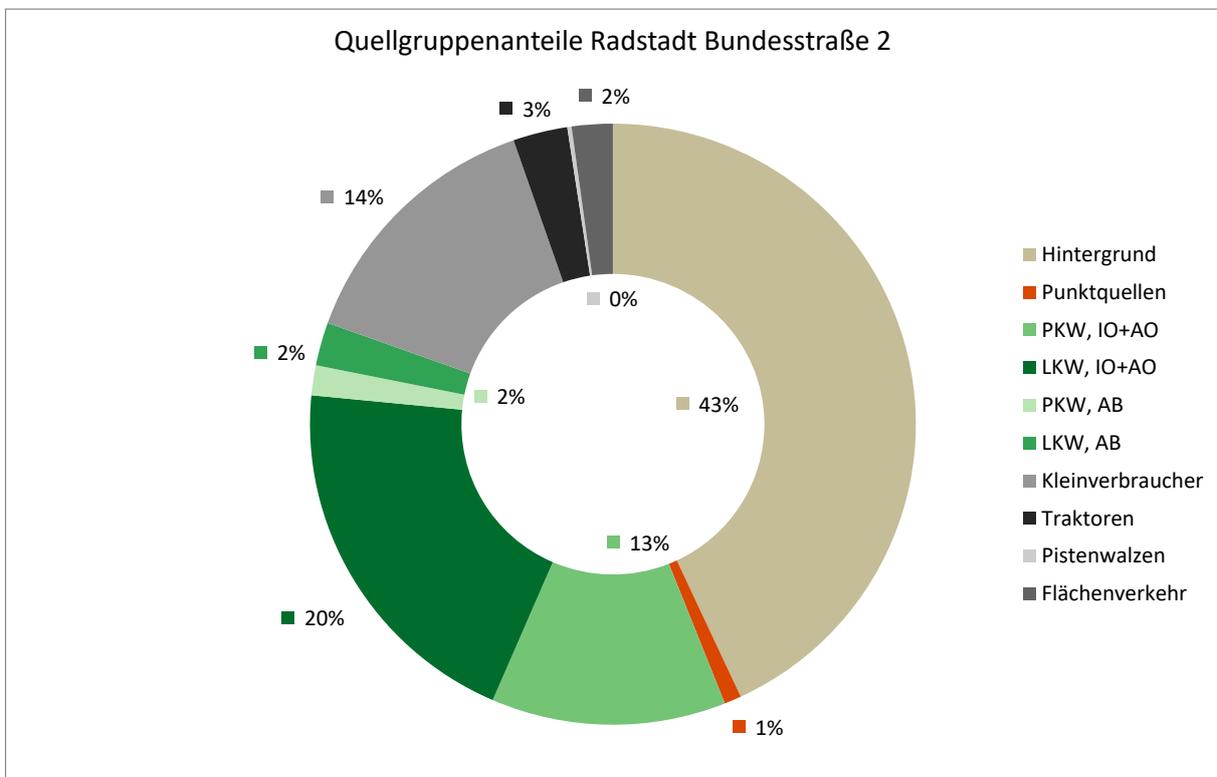


Abbildung 36: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Radstadt Bundesstraße 2

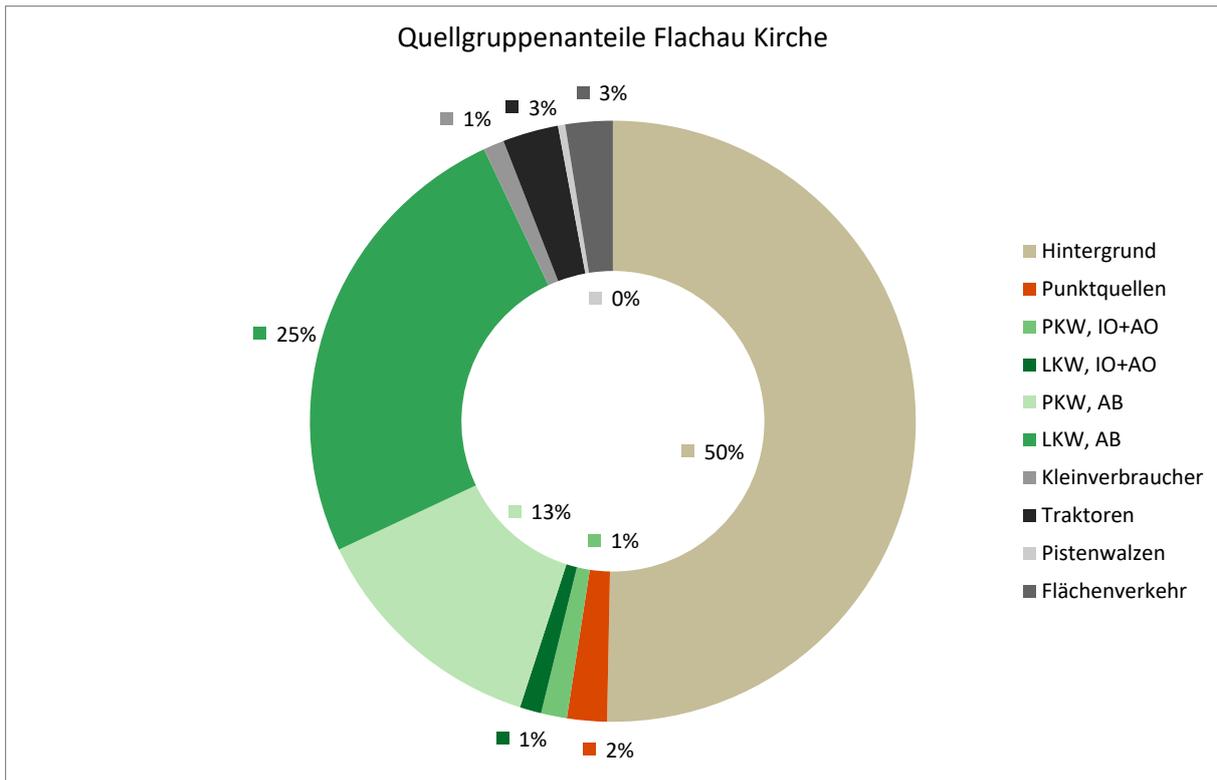


Abbildung 37: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO_x-Konzentration – Flachau Kirche

6.3 Jahresmittelwert Stickstoffdioxid (NO₂)

Zur Berechnung der jahresdurchschnittlichen NO₂-Belastung wurde die Umwandlungsfunktion nach RVS verwendet (Kapitel 4.2.6).

6.3.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den Jahresmittelwert an NO₂ ist in Abbildung 38 dargestellt. Die höchsten Belastungen über 30 µg/m³ treten entlang der Autobahn und einigen Hauptverkehrsstraßen auf.

Im Bereich des Talbodens wurde ein Jahresmittelwert von 10-20 µg/m³ modelliert. In höheren Lagen nimmt die Belastung deutlich ab. Ab ca. 800 m Seehöhe beträgt die Belastung rund 12 µg/m³.

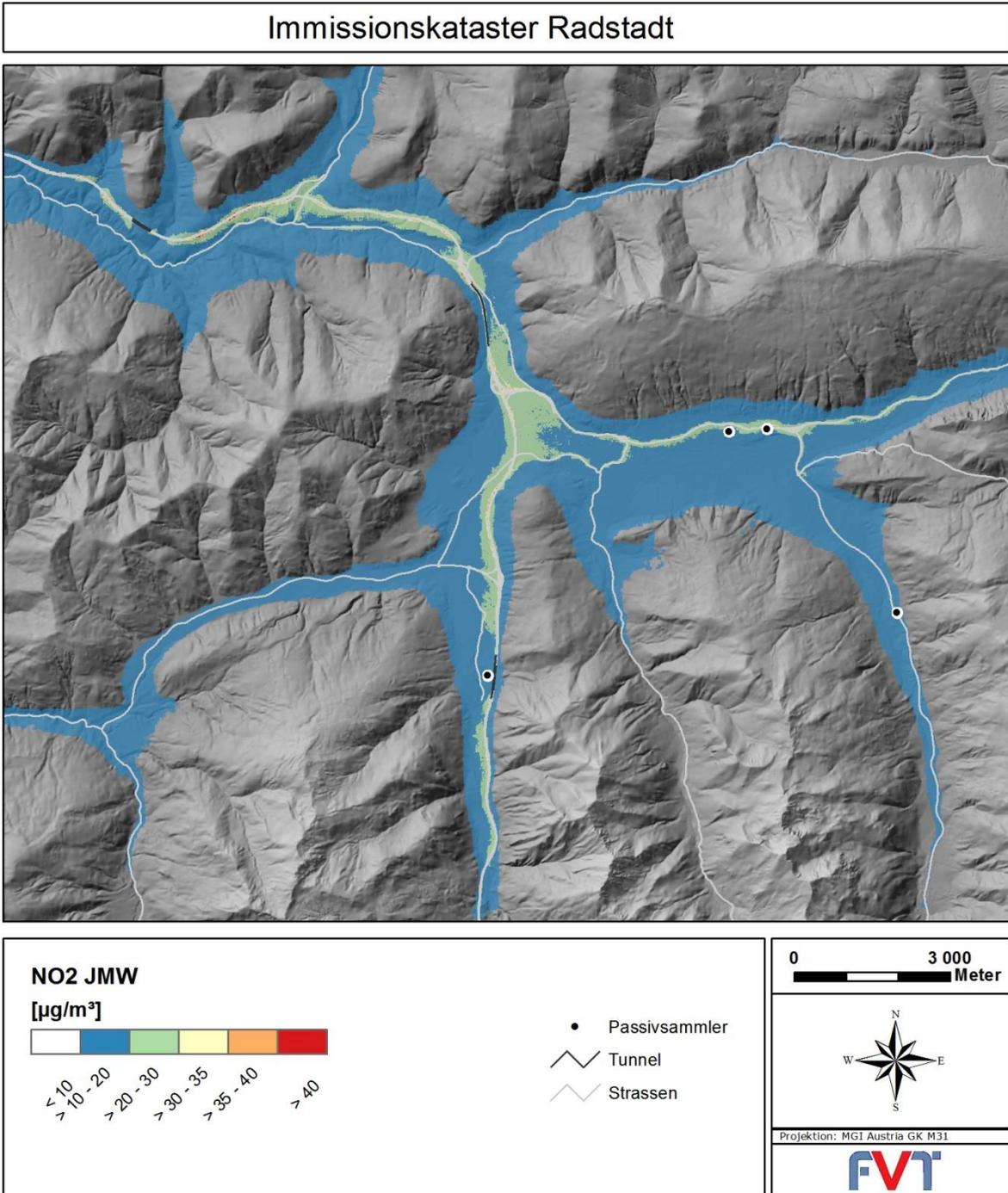


Abbildung 38: Modellierte NO₂-Konzentration im Jahresmittel

6.3.2 Vergleich mit Messdaten

In Abbildung 39 werden die berechneten jahresdurchschnittlichen NO₂-Konzentrationen mit den Messwerten der Passivsammler im Untersuchungsgebiet verglichen. Bei allen Stationen ergibt sich eine Unterschätzung des Modelles. Dies wird auch durch die Steigung der Trendgeraden ersichtlich.

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 innerstädtischen Standorten ist die Unterschätzung zum Teil darauf zurückzuführen, dass bei dieser Modellierung keine Gebäude berücksichtigt wurden. Außerdem wurden bei der Berechnung der Verkehrsemissionen die Stautunden nicht berücksichtigt. Auf stark belasteten innerstädtischen Straßen kann das zu einer Unterschätzung der durchschnittlichen Emissionen führen.

Die beste Übereinstimmung mit den Messwerten ergibt sich, wenn die modellierte NO_x-Belastung mit dem Faktor 2.0 multipliziert wird (Abbildung 40 und Abbildung 41).

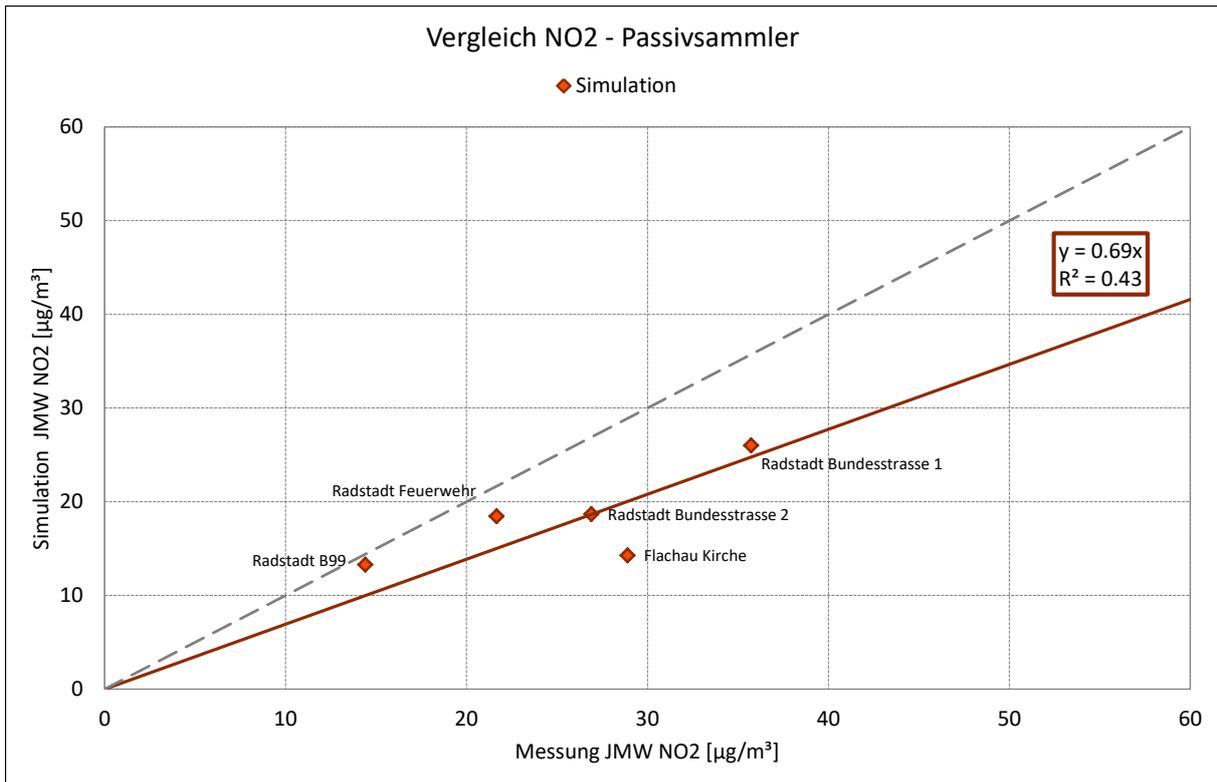


Abbildung 39: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO₂-Jahresmittelwerten

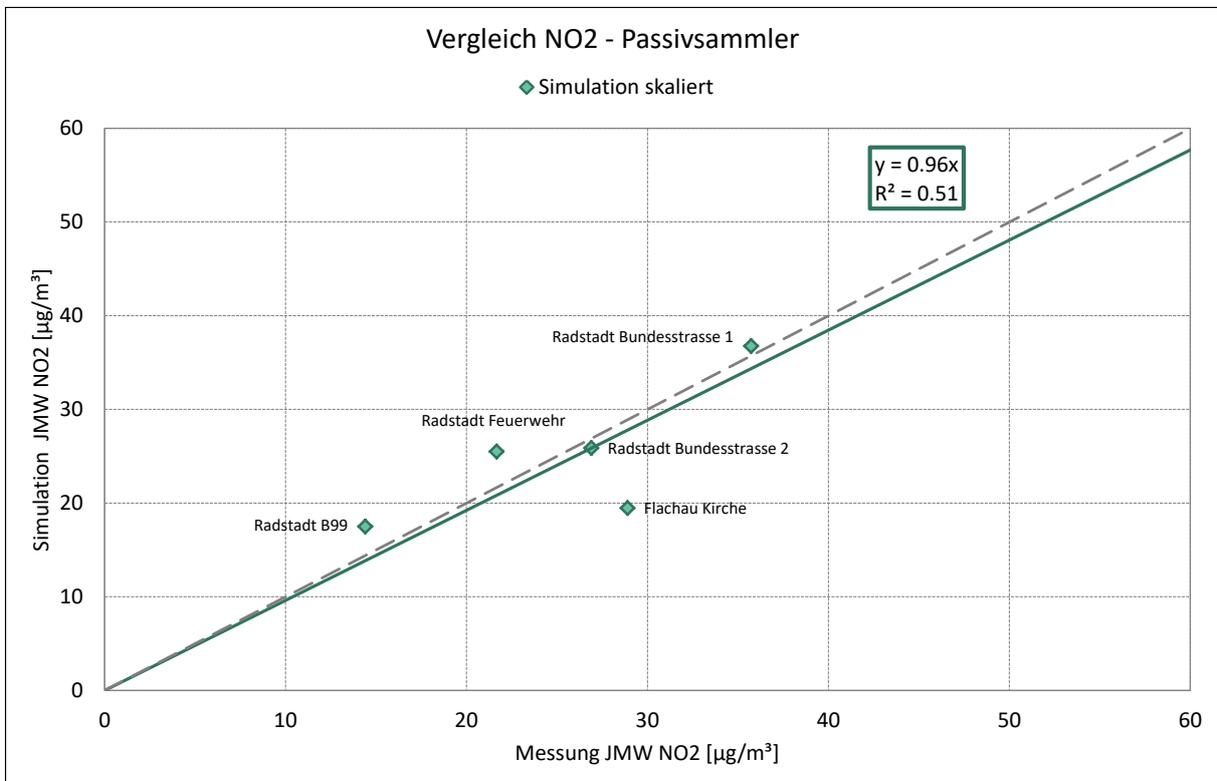


Abbildung 40: Vergleich zwischen gemessenen und korrigierten modellierten NO₂-Jahresmittelwerten

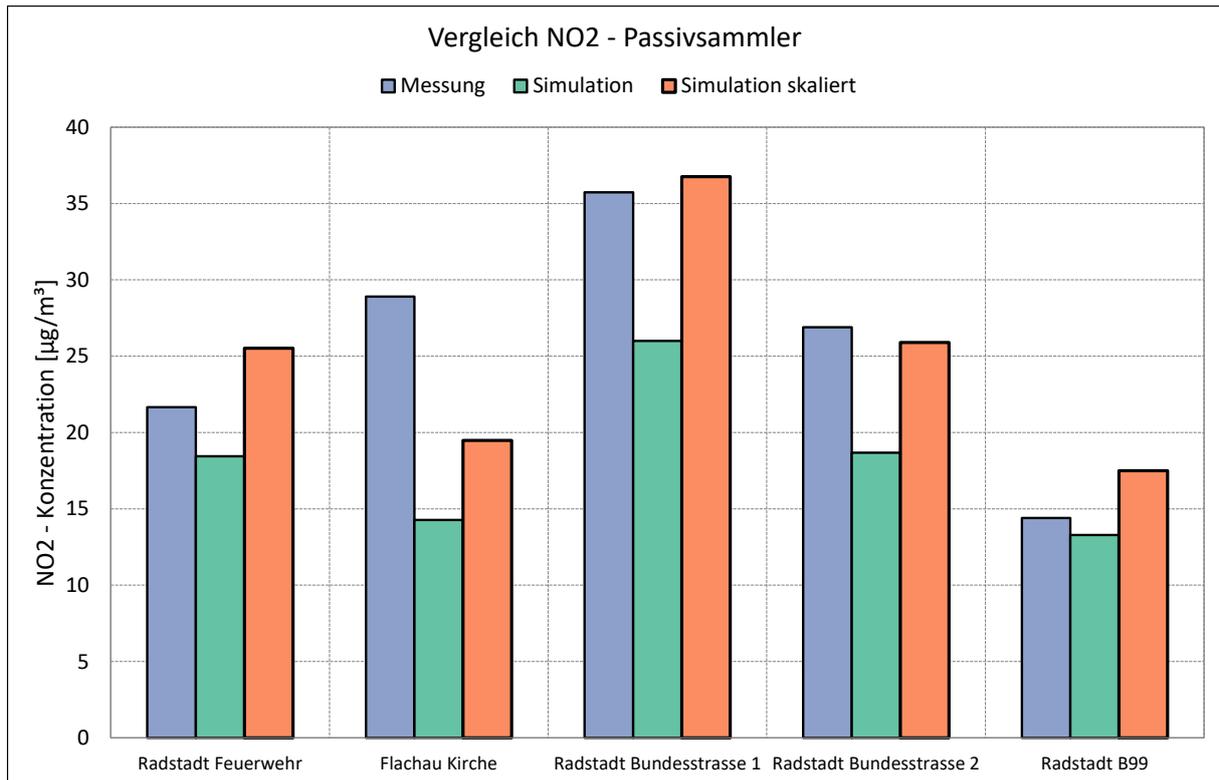


Abbildung 41: Vergleich zwischen gemessenen, modellierten und korrigierten NO₂-Jahresmittelwerten

Das Ergebnis für den korrigierten Jahresmittelwert an NO₂ ist in Abbildung 42 dargestellt. Die höchsten Belastungen von über 40 µg/m³ treten entlang der Autobahn und einigen Hauptverkehrsstraßen auf.

Immissionskataster Radstadt

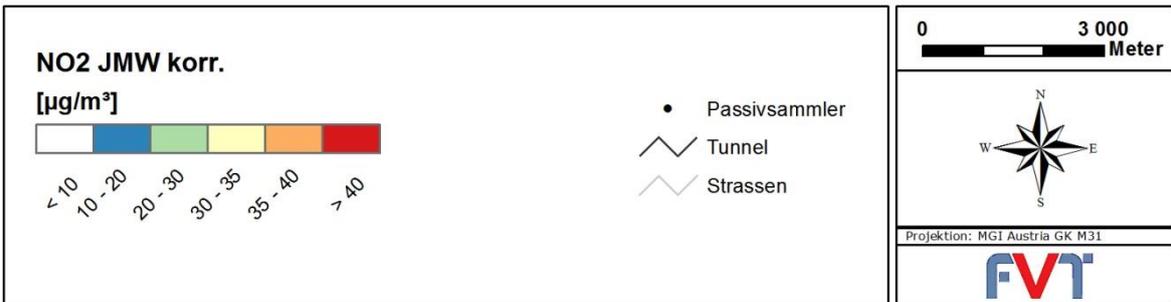
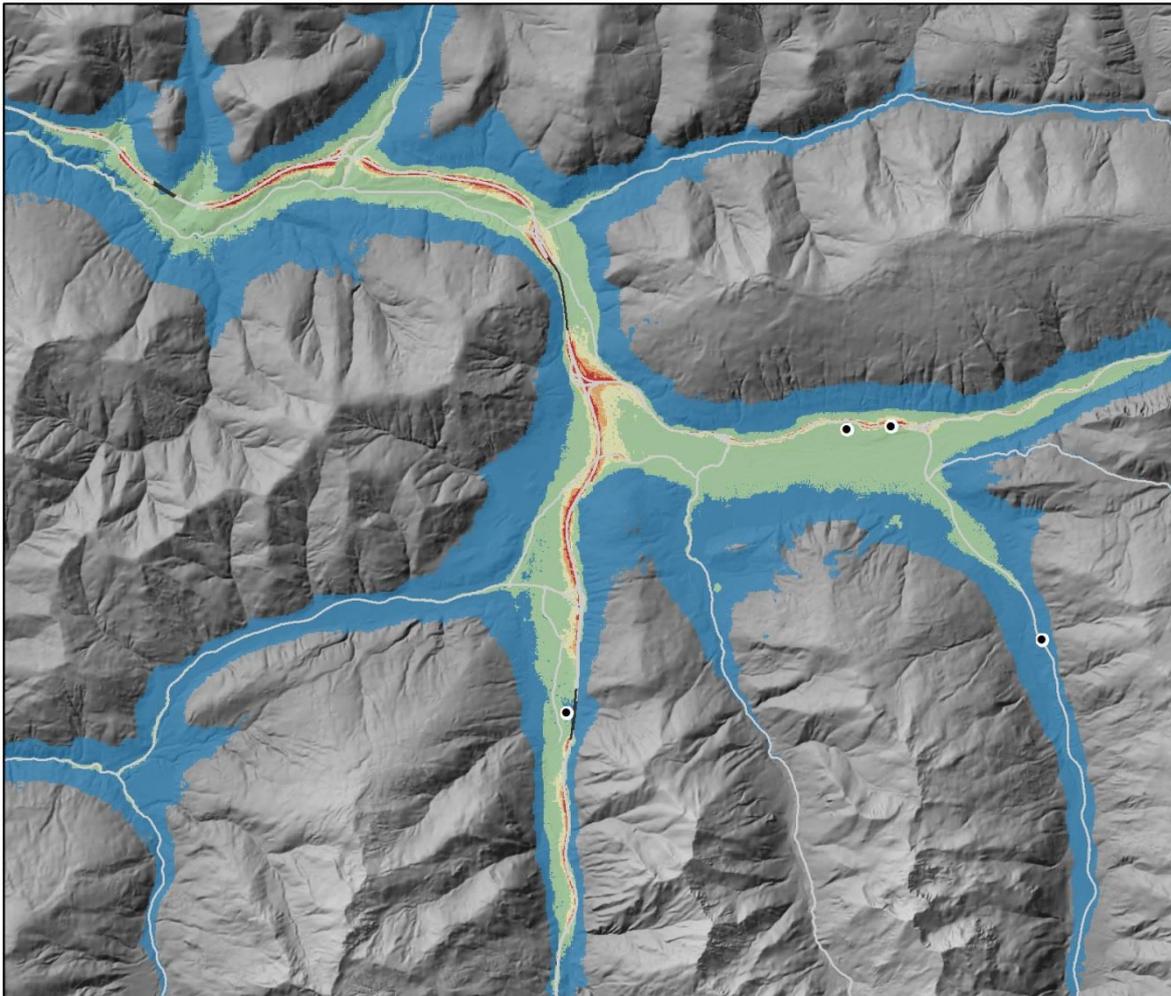


Abbildung 42: Modellierte NO₂-Konzentration im Jahresmittel – korrigiert und inklusive Vorbelastung

6.3.3 Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen

Die Ausbreitungsrechnungen können auch dazu verwendet werden, die Flächen auszuwerten, welche von Grenzwertüberschreitungen betroffen sind. Im Gebiet Radstadt, das eine Gesamtfläche von 333 km² aufweist, wird der Wert von 30 µg/m³ auf einer Fläche von 6 km² überschritten. 35 µg/m³ werden auf einer Fläche von 3 km² überschritten. 40 µg/m³ werden auf einer Fläche von 2 km² überschritten.

Tabelle 8: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den JMW NO₂

JMW	km ²	Prozent
< 30 [µg/m ³]	327	98.4 %
30 - 35 [µg/m ³]	3	0.8 %
35- 40 [µg/m ³]	1	0.3 %
> 40 [µg/m ³]	2	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 38 dargestellt. Die höchsten Belastungen treten entlang der Autobahn auf und betragen über 250 µg/m³.

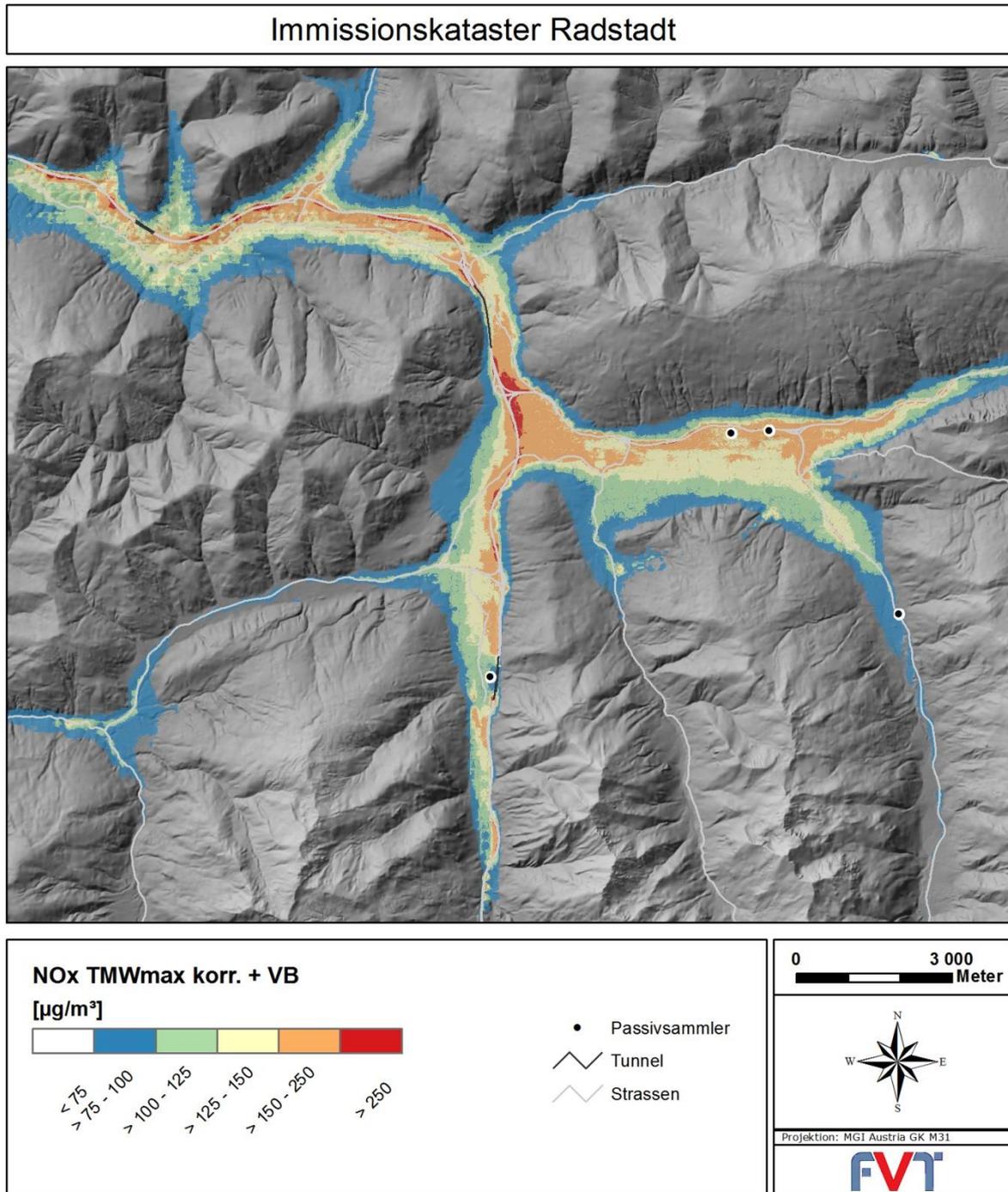


Abbildung 43: Modellierte NO_x-Konzentration für den maximalen Tagesmittelwert – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung

6.5 Maximaler Halbstundemittelwert an NO₂

Für die Berechnung des maximalen Halbstundenmittelwertes wurde die Methodik aus Kapitel 4.2.7 und die Umwandlungsfunktion für das 98 Perzentil aus Kapitel 4.2.6 verwendet.

6.5.1 Simulationsergebnisse

Das Ergebnis für den maximalen Halbstundenmittelwert an NO₂ ist in Abbildung 44 dargestellt. Die höchsten Belastungen treten entlang der Autobahn auf und erreichen knapp 200 µg/m³. Entlang von Hauptverkehrsstraßen liegen die Belastungen zwischen 125 und 150 µg/m³. Im gesamten Talbodenbereich betragen die Immissionsbelastungen über 75 µg/m³.

Immissionskataster Radstadt

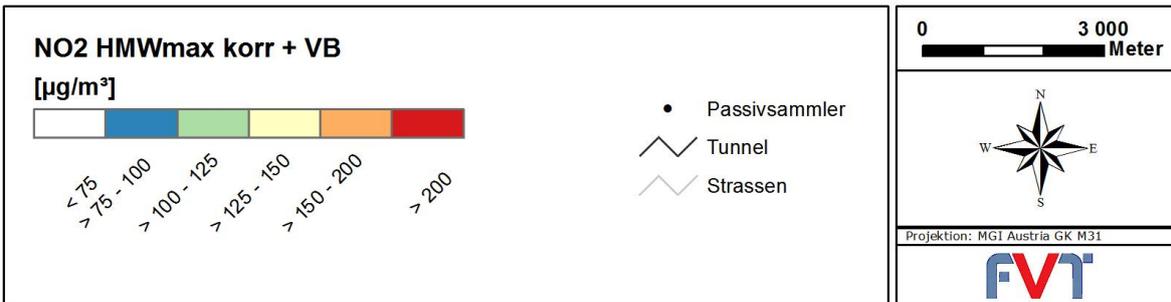
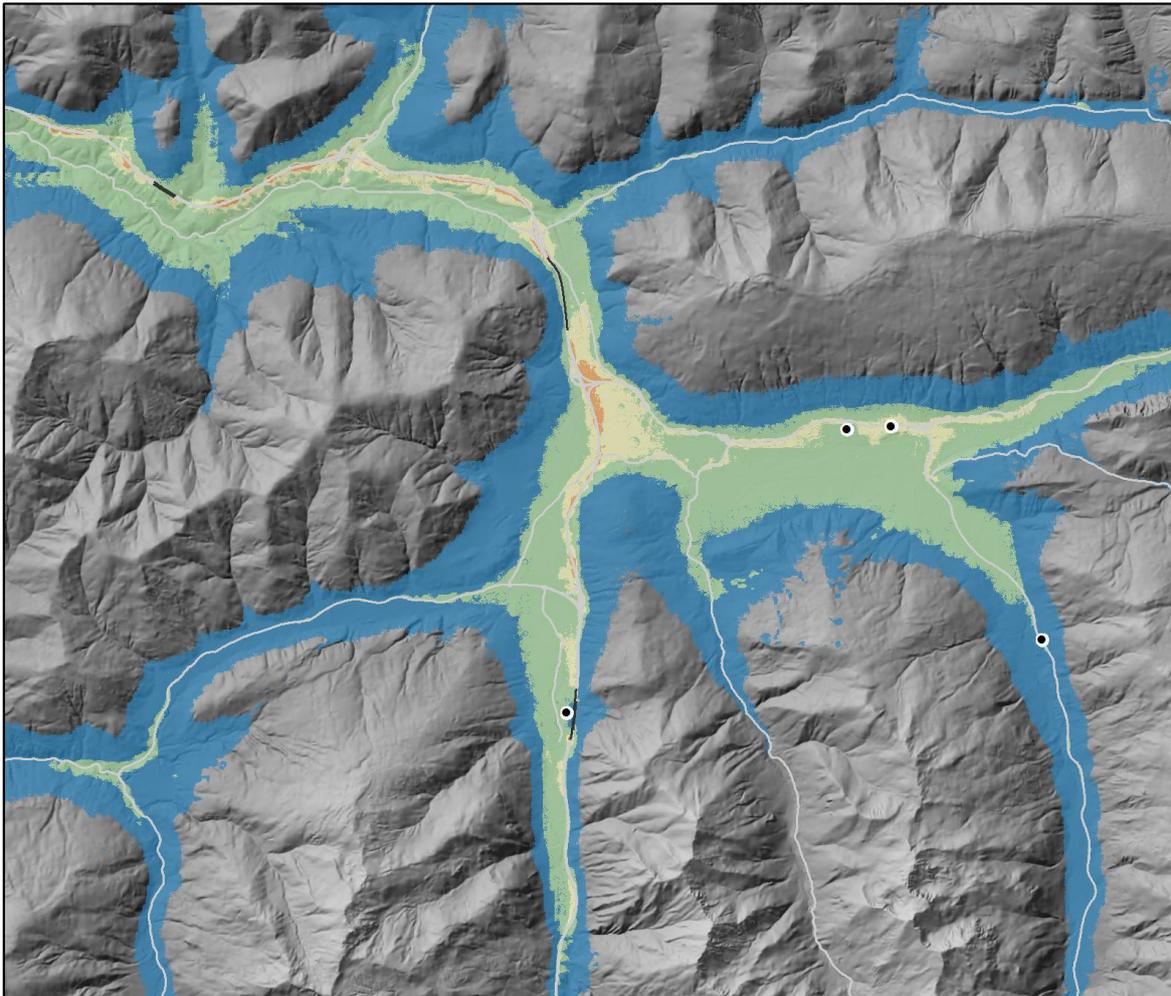


Abbildung 44: Modellierte NO₂-Konzentration im maximalen Halbstundenmittel

6.5.2 Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen

Die Ausbreitungsrechnungen können auch dazu verwendet werden, die Flächen auszuwerten, welche von Grenzwertüberschreitungen betroffen sind. Im Gebiet Radstadt, das eine Gesamtfläche von 333 km² aufweist, kommt es nur in einer Fläche von 0.1 km² zu Überschreitungen des Grenzwertes von 200 µg/m³.

Tabelle 9: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den HMW_{max} NO₂

HMW _{max}	km ²	Prozent
< 150	331.4	99.7%
> 150 - 200 [µg/m ³]	1.1	0.3%
> 200 [µg/m ³]	0.1	0.02%

Anzumerken ist hier jedoch die relativ große Prognoseunsicherheit bei der Bestimmung eines maximalen Halbstundenmittelwertes (siehe Kapitel 4.2.7).

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 Unterschätzung 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. Bei einem Modellgebiet dieser Größe ist beispielsweise die Berücksichtigung von Gebäuden bei vertretbarem Rechenaufwand nicht möglich. Außerdem 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 10 m. Zu beachten ist allerdings, dass in einem Gebiet dieser Größe der Gebäudeeinfluss nicht berücksichtigt werden kann. 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.

8 Literaturverzeichnis

[1] RVS 04.02.12. Ausbreitung von Luftschadstoffen an Verkehrswegen und Tunnelportalen. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr, Wien (2014)

<http://www.fsv.at/shop/produktdetail.aspx?IDProdukt=0d62053f-00e2-4bb2-b27c-6fa94e493a50>.

[2] BGBl. I Nr. 77/2010. Bundesgesetz, mit dem das Immissionsschutzgesetz-Luft und das Bundesluftreinhaltegesetz geändert werden und das Bundesgesetz über ein Verbot des Verbrennens biogener Materialien außerhalb von Anlagen aufgehoben wird. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien (2010)

https://www.ris.bka.gv.at/Dokument.wxe?Abfrage=BgblAuth&Dokumentnummer=BGBLA_2010_I_77.

[3] BGBl. II Nr. 298/2001. Immissionsgrenzwerte und Immissionszielwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien (2001)

<https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR30001607/NOR30001607.html>.

[4] D. Oettl. Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL ,Graz Lagrangian Model Vs. 13.3, Amt d.Stmk.Landesregierung, FA17C, Technische Umweltkontrolle, Bericht: Lu-03-13 (2013).

[5] E. Romberg, R. Böisinger, A. Lohmeyer, R. Ruhnke und E. Röth. NO-NO₂-Umwandlung für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 56, 215-218 (1996).

[6] Dietmar Oettl Benutzerhandbuch GRAL Benutzeroberfläche 15.4, 1-78 (2015).

[7] Umwelt Land Salzburg Luftgüte - Messungen mit Passivsammler Jahresbericht 2010 (Juni 2011).

[8] Umwelt Land Salzburg Luftgüte - Messungen mit Passivsammler Jahresbericht 2011 (Juni 2012).

[9] Umwelt Land Salzburg Luftgüte - Messungen mit Passivsammler Jahresbericht 2012 (Juni 2013).

[10] Umwelt Land Salzburg Luftgüte - Messungen mit Passivsammler Jahresbericht 2013 (Juni 2014).

[11] Umwelt Land Salzburg Luftgüte - Messungen mit Passivsammler Jahresbericht 2014 (Juli 2015).

[12] John H. Seinfeld und Spyros N. Pandis. From Air Pollution to Climate Change (1998).

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modellierete NO ₂ -Konzentration im Jahresmittel.....	6
Abbildung 2: Berechnungsgebiet für die Schadstoffausbreitung	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 [1]	17
Abbildung 6: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Altenmarkt.....	19
Abbildung 7: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Windgeschwindigkeitsklassen am Standort Salzburg Altenmarkt.....	19
Abbildung 8: Mittlere Häufigkeit der Hauptwindrichtungen am Standort Salzburg Altenmarkt	20
Abbildung 9: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Altenmarkt	20
Abbildung 10: Mittlere Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Radstadt.....	21
Abbildung 11: Mittlere Windrichtungsverteilung [%] inklusive Windgeschwindigkeitsklassen am Standort Salzburg Radstadt.....	22
Abbildung 12: Mittlere Häufigkeit der Hauptwindrichtungen am Standort Salzburg Radstadt.....	22
Abbildung 13: Tagesgang der mittleren Windgeschwindigkeit am Standort Salzburg Radstadt	23
Abbildung 14: Lage der Passivsammler im Bezirk Pongau.....	24
Abbildung 15: Anteil der Quellgruppen an den NO _x -Emissionen im Untersuchungsgebiet ...	26
Abbildung 16: Anteil der Quellkategorien an den NO _x -Emissionen im Untersuchungsgebiet.....	26
Abbildung 17: NO _x -Punktquellen im Untersuchungsgebiet.....	28
Abbildung 18: NO _x -Linienquellen Im Untersuchungsgebiet	29
Abbildung 19: NO _x -Flächenquellen im Untersuchungsgebiet	30

Abbildung 20: Vergleich der Windgeschwindigkeitsklassen sowie der Windrosen an der Station Altenmarkt Messung (oben) gegen Simulation (unten)	32
Abbildung 21: Vergleich der Windgeschwindigkeitsklassen sowie der Windrosen an der Station Radstadt Messung (oben) gegen Simulation (unten)	33
Abbildung 22: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Punktquellen	35
Abbildung 23: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – PKW, Innerorts und Außerorts	36
Abbildung 24: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - LKW, Innerorts und Außerorts	37
Abbildung 25: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - PKW, Autobahn	38
Abbildung 26: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - LKW, Autobahn	39
Abbildung 27: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Kleinverbraucher & Haushalte	40
Abbildung 28: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Traktoren.....	41
Abbildung 29: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Pistenwalzen	42
Abbildung 30: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel - Flächenverkehr	43
Abbildung 31: Modellierte NO _x -Konzentration im Jahresmittel – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung	44
Abbildung 32: Modellierte Immissionsbeiträge der einzelnen Quellgruppen - JMW NO _x	45
Abbildung 33: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Radstadt B99.....	46
Abbildung 34: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Radstadt Feuerwehr	46
Abbildung 35: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Radstadt Bundesstraße 1	47
Abbildung 36: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Radstadt Bundesstraße 2	47
Abbildung 37: Berechnete Anteile der Quellgruppen an der jahresdurchschnittlichen NO _x -Konzentration – Flachau Kirche.....	48

Abbildung 38: Modellierte NO ₂ -Konzentration im Jahresmittel	49
Abbildung 39: Vergleich zwischen gemessenen und modellierten NO ₂ -Jahresmittelwerten – (2).....	51
Abbildung 40: Vergleich zwischen gemessenen und korrigierten modellierten NO ₂ -Jahresmittelwerten – (2).....	51
Abbildung 41: Vergleich zwischen gemessenen, modellierten und korrigierten NO ₂ -Jahresmittelwerten	52
Abbildung 42: Modellierte NO ₂ -Konzentration im Jahresmittel – korrigiert und inklusive Vorbelastung	53
Abbildung 43: Modellierte NO _x -Konzentration für den maximalen Tagesmittelwert – Gesamtbelastung inklusive Vorbelastung.....	55
Abbildung 44: Modellierte NO ₂ -Konzentration im maximalen Halbstundenmittel.....	57
Abbildung 47: Passivsammler im Untersuchungsgebiet Salzburg Radstadt	66

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Freisetzungshöhen der Flächenquellen	11
Tabelle 2: Immissionsgrenzwerte nach IG-L in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13
Tabelle 3: Grenzwerte zum Schutz der Ökosysteme und der Vegetation [3] in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	13
Tabelle 4: Definition der Quellgruppen	14
Tabelle 5: Parameter für die NO_2 -Umwandlungsfunktion abgeleitet aus österreichischen Datensätzen	16
Tabelle 6: Passivsammlermessungen im Bezirk Pongau.....	23
Tabelle 7: NO_x -Emissionen im Untersuchungsgebiet für das Jahr 2010.....	25
Tabelle 8: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den JMW NO_2	54
Tabelle 9: Gebiet mit Grenzwertüberschreitungen für den $\text{HMW}_{\text{max}} \text{NO}_2$	58
Tabelle 11: Emissionen aller verwendeten Punktquellen im Untersuchungsgebiet.....	66
Tabelle 12: Parameter für die Strömungssimulationen	67
Tabelle 13: Parameter für die Ausbreitungsrechnungen	67

11 Anhang

Emissionen

Tabelle 10: Emissionen aller verwendeten Punktquellen im Untersuchungsgebiet

Name	Rechtswert [m]	Hochwert [m]	Höhe [m]	NOx [kg/h]
Bioenergie Wagrain GmbH	446457	243964	10	0.96
Biomasse Zauchensee GesmbH & Co KG	459420	240207	10	0.45
Biomasse-Heizanlage Radstadt	460512	249170	10	0.40
Holzwärme Altenmarkt GmbH	455454	249591	10	1.74
Holzwärme Flachau GmbH	454394	244372	10	1.55
Holzwärme Salzach-Pongau reg. Gen.m.b.H.	452551	253549	10	1.23
Jägerzaun GesmbH	456743	247622	13	0.11
Kirchner Säge und Hobelwerk GmbH	460512	249170	10	0.01
SWH-Strom und Wärme aus Holz Filzmoos	463144	255045	10	0.95

Passivsammler

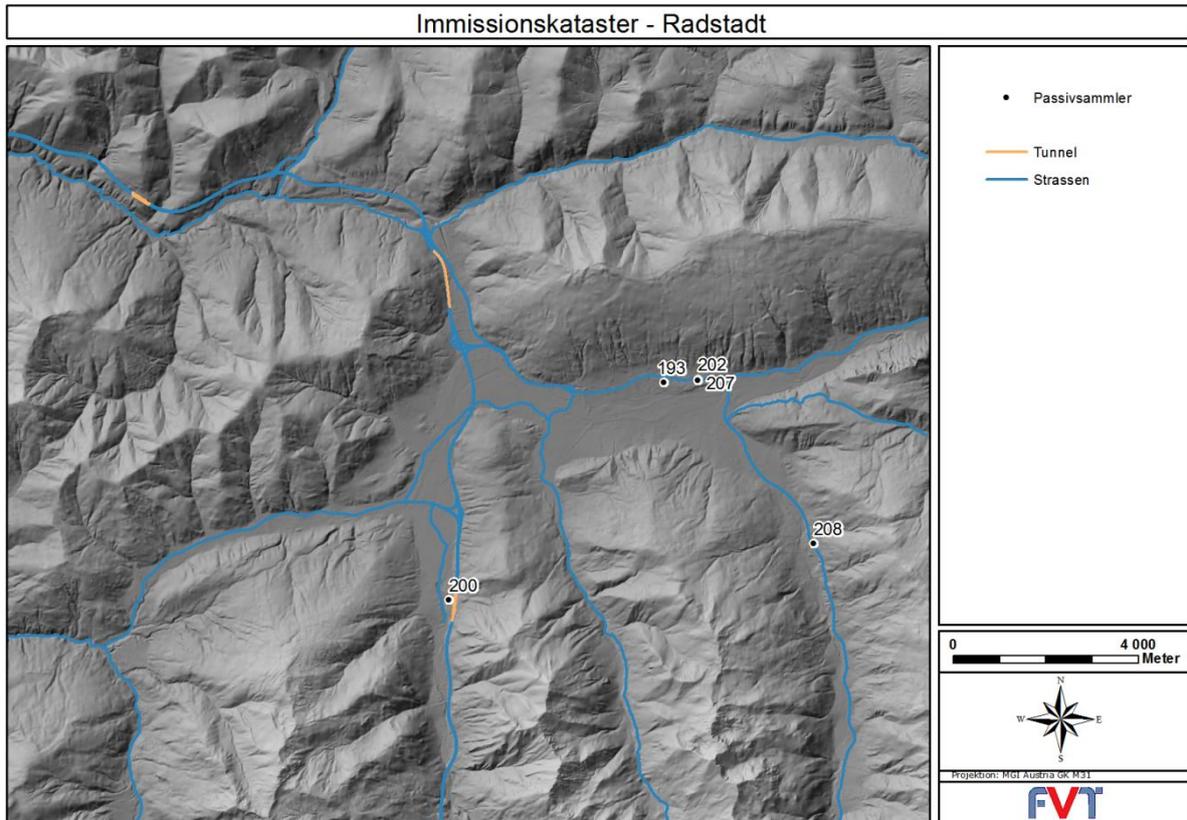


Abbildung 45: Passivsammler im Untersuchungsgebiet Salzburg Radstadt

Parameter für die Ausbreitungsmodellierung

Tabelle 11: Parameter für die Strömungssimulationen

Parameter Strömungssimulation	
Modell	GRAMM
Version (YY_MM)	12_06
Topographiedaten	Digitales Geländemodell (Aster)
Auflösung	10 m
Größe Modellgebiet	20x17 km
Horizontales Gitter	200 m
Höhe unterste Zelle	10 m
Stretchingfaktor	1.4
Initialisiert mit Messstation	Altenmarkt Therme
Koordinaten	455652 / 249267
Projektion	MGI Austria GK M31
Seehöhe	393 m – 1150 m
Auswertezeitraum	01. Juli 2012 bis 30. Juni 2013
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)	15_06
Größe Modellgebiet	20x17km
Horizontales Gitter	10 m
Vertikales Gitter	2 m
Auswerteebene	3 m
Rauhigkeitslänge	landuse
Gebäudeeinfluss	nein